379
أغسطس
2011

عالم المعرفة

الإشعاع الذري واستخداماته السلمية

تأليف:
د. عبدالحميد حلمي الجزار
محمد عبدالمنعم صقر

سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب - الكويت

إصدارات المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب
المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب
الكويت
الفنون
إبداعات عالمية
المسرح العالمي
الإصدارت
الدورية

عالم المعرفة

سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب - الكويت

صدرت السلسلة في يناير 1978

أسسها أحمد مشاري العدواني (1923-1990) ود. فؤاد زكريا (1927-2010)

379

الإشعاع الذري واستخداماته السلمية

تأليف:

د. عبدالحميد حلمي الجزار

محمد عبدالمنعم صقر

أغسطس 2011

سلسلة شهرية يصدرها
المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب

alam_almarifah@hotmail.com

سعر النسخة

الكويت ودول الخليج	دينار كويتي
الدول العربية	ما يعادل دولارا أمريكيا
خارج الوطن العربي	أربعة دولارات أمريكية

الاشتراكات

دولة الكويت

للأفراد	15 د. ك
للمؤسسات	25 د. ك

دول الخليج

للأفراد	17 د. ك
للمؤسسات	30 د. ك

الدول العربية

للأفراد	25 دولارا أمريكيا
للمؤسسات	50 دولارا أمريكيا

خارج الوطن العربي

للأفراد	50 دولارا أمريكيا
للمؤسسات	100 دولار أمريكي

تسدد الاشتراكات مقدما بحوالة مصرفية باسم المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب وترسل على العنوان التالي:

السيد الأمين العام
للمجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب
ص. ب: 28613 - الصفاة
الرمز البريدي 13147
دولة الكويت
تليفون: 22431704 (965)
فاكس: 22431229 (965)
www.kuwaitculture.org.kw

ISBN 978 - 99906 - 0 - 336 - 1

رقم الإيداع (2011/377)

العنوان الأصلي للكتاب

الإشعاع الذري واستخداماته السلمية

طُبع من هذا الكتاب ثلاثة وأربعون ألف نسخة

رمضان 1431 هـ - أغسطس 2011

محتوى

مقدمة

«في كل ثانية تمر علينا تختزن أجسامنا آلاف الإشعاعات»

المؤلفان

نبحث دائما عن الدواء لعلاج الأمراض التي تصيبنا، ونعتقد أن الدواء هو في العقاقير والأنواع الأخرى من طرق العلاج الطبي. والحقيقة أن المعرفة هي عدو المرض، وإذا فكر المرء في هذه الحقيقة لوجد أنها الوسيلة لأن تجعل العالم أفضل وأفضل، حيث إن المعرفة هي التي تؤدي إلى اكتشاف وتطوير طرق العلاج، وبنظرة أكثر عمقا نجد أنها تقف خلف نجاح العلاج والاستفادة مما هو متاح، ولكن إذا استمر تفكيرنا العميق وجدنا أن المرض لا يقتصر على الأمراض الصحية، ولكنه يتعدى ذلك بكثير، ويتضمن أمراضا اجتماعية وإدارية وإنسانية وسياسية، وهي جميعا مرتبطة بعضها ببعض ارتباطا لصيقا قد

لا يرى إذا لم ننظر إلى ما حولنا نظرة شمولية ونقيم ما هو حادث بتلك الطريقة نفسـها، وأبسـط مثال هو ارتباط الجهل مع المرض والفساد والفقر والقوانين وتطبيقاتها ... إلخ.

إن المعرفـة هي العدو الأكيد لكل تلك الأمـراض، وهي أيضا لا بد أن تكون شـمولية من ناحية تنوعها، والأهم أن تشـمل الكثيرين وأن تتضمن السياسيين ومتخذي القرار، وعلى سبيل المثال كيف لمسؤول أن يقرر شراء تكنولوجيا نووية للاسـتخدام السلمي أو أن يعيق الحصول عليها من دون الدراية بها وبفوائدها؟

ومن هنا كانت فكرة هذا الكتاب بقصد المسـاهمة في نشـر جزء من المعرفة عن مجال مهم يفيد الإنسـان، وهو الإشـعاع الذري واستخداماته لخدمة الإنسان.

والإشـعاع الـذري ظاهرة قديمة قدم نشـأة العالـم، وهو جزء لا يتجـزأ مـن الحياة الطبيعية التـي نحياها، وفـي كل ثانية تمر علينا تختزن أجسامنا آلاف الإشعاعات. وأغلبية الإشعاع ينبع من الطبيعة، وهو مسـتقل تماما عن صنع الإنسـان، وفي عالمنا الحالي يوجد جزء صغير إضافي من الإشـعاعات غير الطبيعية تنبع مما يفعله الإنسان. والإشـعاع كان ولايزال جزءا من محيط الإنسـان، وهناك اعتقاد أن الإشـعاعات في أغلبيتها مضرة، وعلى الخصوص الإشعاعات النووية التي تعرف عليها الإنسـان للمرة الأولى عنـد تفجير القنابل النووية، ولكن اسـتخدامات الأشـعة سـواء الصادرة من مدارات الذرة أو من النواة (الأشـعة النووية) تستخدم في كثير من المجالات والتي بدورها أدت إلى ثورة في تحديـث تلك المجالات وأهمها مجال الطب. وتعتبر الثورة السريعة في التصوير الطبي هي مستقبل الطب الحديث.

ويخشى عموم الناس من غير العاملين في مجال الإشعاع استخدام الإشـعاع أو التعرض حتى لجرعات ضئيلـة منه، وهذا اعتقاد خاطئ حيث إنـه في أغلب الأحيـان، وبالذات عند الحديث عن اسـتخدام الأشـعة النووية في تشـخيص الأمراض تكون الجرعات التي يتعرض لهـا المريض ضئيلة، لدرجة أنها قـد تكون مقاربة أو أقل مما يتعرض

له مـن الإشـعاعات الطبيعية الموجودة فـي الكون مـن حولنا. وقد يعتقد البعض أن التعرض، ولو لقليل من تلك الإشـعاعات، يسبب أمراضا ومضاعفات خطيرة، وهذا الاعتقاد قد يكون شخصيا أو بين مجموعات أو مؤسسات وأيضا عند متخذي القرارات، وهو ما يؤدي إلى الإحجام عن استخدام هذه الإشعاعات والاستفادة الكاملة منها. مما يؤثر سلبا في التقدم في المجالات الحيوية وصحة ورفاهية الإنسان وتنمية المجتمع.

إن التقنيات المستعملة في الطب النووي، كأحد الاستخدامات السلمية للإشعاع النووي، لا تشكل خطرا على المريض، بل تختصر الوقت وتكشف المرض بسرعة أكبر، كما تقلل المعاناة الجسدية والتكلفة المادية، ما يجعله فرعا في غاية الأهمية، على الرغم من أن الناس مازالوا متخوفين من كلمة «النووي» التي نالت شهرتها بعد الحوادث النووية المؤلمة التي حصدت خسائر بشرية ومادية كبيرة. وتجدر الإشارة إلى أن قدرة الطب النووي على تشخيص وعلاج الأورام السرطانية والأمراض كبيرة، في حين أن النتائج الإيجابية تزداد أو تضمحل وفقا لمراحل المرض واكتشافه المبكر.

ولا يوجد ما يكفي في المكتبة العربية لكي تستنير الشعوب بالحقائق التي قد تفيد في الكثير من الحالات وتزيد الوعي، وعلى أقل تقدير تزيل الخوف من كل ما قد يصدر إشعاعا، وتشجع بالتالي على تقبل المشروعات المهمة التي تعتمد على الطاقة النووية، وكذلك تشرح كيفية التصرف عند احتمال التعرض لإشعاعات أكثر مما هو معهود، وإجراءات الحماية منها. وهذا ما دفعنا إلى وضع هذا الكتاب الذي يحوي معلومات علمية مبسطة وسهلة للقارئ العام، كي يتعرف على طبيعة الإشعاعات المؤينة ومصادرها وبعضا من استخداماتها السلمية في كل مناحي الحياة، بالإضافة إلى استخدامها في المجال الطبي، ثم طرق الوقاية من هذه الإشعاعات. ونهدف من ذلك إلى تشجيع زيادة استخدام الإشعاعات بطريقة علمية سليمة في مجتمعاتنا العربية. فنجني ثمرة هذا العلم المهم ونحقق التقدم المنشود من دون التعرض للأضرار والمخاطر.

شكر وتقدير

نتقدم بالشكر والعرفان إلى السيدة جيهان مطر الشمري لمساعدتها القيمة في تحضير الكتاب والمراجعة اللغوية، وكذلك الدكتورة فريدة العوضي والزملاء أيمن طه، رهام الحجي، محمد عيسى، دينا أحمد حمدي، ونادية موسى، لمساعدتهم القيمة في إنجاز هذا العمل.

I

نبذة تاريخية

يعتبر العام 1895 بداية لعصر جديد من الاكتشافات العلمية، هو عصر الإشعاعات المؤينة الذي فتح الطريق إلى تطبيقات حديثة للإشعاع في مجالات عدة وأهمها الطب الحديث.

«في خمسينيات القرن الماضي بدأت سلسلة من التغيرات باستخدام الإشعاع المؤين وغير المؤين في تشخيص الأمراض بعد سنوات طوال من استخدام الأشعة السينية العادية، وأدى هذا إلى تصنيع العديد من الأجهزة بدءا بأجهزة الموجات الصوتية التي تطورت فيما بعد وتستخدم حتى يومنا هذا»

المؤلفان

عصر الاكتشافات الأولية

ساهم في ميلاد هذا العصر نخبة كبيرة من العلماء، غير أن الفضل الحقيقي يعود إلى تسعة علماء هم أبرز علماء هذا العصر الجديد وهم: ويليام كونراد رونتغن، أنطوان هنري بيكريل، بيير كوري، ماري سكلودوفسكا كوري، جوزيف جون طومسون، إرنست رذرفورد، إنريكو فيرمي، إرنست أورلاندو لورانس، وجورج دي هيفيساي.

ومن أهم ما اكتشفه هؤلاء العلماء ما يلي:

- الأشعة السينية.
- النشاط الإشعاعي وتعريفه.
- اكتشاف الراديوم والبولونيوم.
- تعريف الذرة ومكوناتها.
- تأثير الإشعاع الصادر من الراديوم على الجلد ثم على كل أعضاء الجسم البشري.
- وضع وحدات لقياس النشاط الإشعاعي،
- اكتشاف أنواع الإشعاع المؤين.
- ابتكار المفاعلات النووية.
- اختراع المعجلات النووية.
- استخدام النظائر المشعة في الفحوص الطبية، وفتح الباب أمام استخدامها في العديد من المجالات السلمية المهمة كالأبحاث العلمية وتوليد الطاقة الكهربية.

وفيما يلي تفصيل مختصر لما قام به هؤلاء العلماء من اكتشافات أولية مهدت الطريق لما نحن عليه اليوم في هذا المجال:

1 - ويليام كونراد رونتغن William Conrad Roentgen (1845 - 1923)

وليام كونراد رونتغن

ولــد الفيزيائي الألمانــي ويليام كونراد رونتغن فــي العام 1845، وكان مولعــا بالفيزياء حتى حصل على درجة الدكتــوراه فيها. ثم واصل تقدمه العلمي حتى وصل إلى درجة الأســتاذية في جامعة فورتسبورغ في ألمانيا. وكان يقضــي يومه نهــارا في التدريس بالجامعة ويجــري تجاربه العلمية ليلا في المختبر، وذلك على أنبوبة كروكس لأشــعة الكاثود لدراسة ظاهرة الاستشعاع الضوئي (Fluorescence) للمواد.

وهــذه الأنبوبة عبارة عن انتفاخ زجاجــي مفرغ من الهواء، ويحتوي على قطبين كهربيين متقابلين أحدهما ســالب ويتكون من سلك يسخن كهربيا (يســمى بالكاثود)، والآخر موجب ويتكون من شــريحة معدنية مربعة أو مســتطيلة الشــكل (يســمى بالآنود). وعند تطبيق فرق جهد كهربي على هذين القطبين تنطلق أشعة لم تفسر كنيتها في ذاك الوقت ســميت بأشعة الكاثود، وتصطدم بالآنود محدثة توهجا للأنبوبة. ولقد ســميت بأنبوبة كروكس لأشعة الكاثود نسبة إلى مخترعها العالم ويليام كروكس (William Crookes).

وفــي ليلة يوم 8 نوفمبر من العام 1895، اســتطاع رونتغن أن يكتشــف الأشــعة الســينية (X-Ray)، حين اســترعى انتباهه الاستشــعاع الضوئي (fluorescence) الحادث لبلورات الباريوم بلاتينو سيانيد (Barium Platino Cyanide) والتي تصادف وجودها بجوار أنبوبة الكاثود حيث يجري تجاربه.

ولقــد نجح في توليــد هذه الأشــعة الجديدة التي عرفــت فيما بعد بالأشــعة الســينية عندما قام بتطبيق فرق جهد عال علــى طرفي أنبوبة أشعة الكاثود.

علم رونتغن أن توهج البلورات هو وميض استشــعاعي ناتج عن سقوط أشعة غير مرئية صادرة من أنبوبة أشعة الكاثود على البلورات. وهنا أدرك أنه قد نجح في توليد نوع جديد من الأشعة ينبعث من أنبوبة أشعة الكاثود، غير أنه لم يكن قادرا على رؤيتها أو فهم طبيعتها، ولذا فقد أسماها أشعة إكس (X-Ray)، أي الأشــعة الغامضة، وبعد دراسة خصائص هذه الأشعة الغامضة أشهرا عدة، اكتشف رونتغن أن هذه الأشعة الغامضة وغير المرئية لها قدرة عالية على اختراق المواد مثل الخشــب والورق والألومنيوم، حيث

قـــام بتغطية أنبوبة الكاثود برقائق مصنوعة من هذه المواد فحجبت الضوء الصادر من الأنبوبة، بينما استمرت ظاهرة الوميض الاستشعاعي لبلورات الباريوم بلاتينوسيانيد الموجودة بجوار أنبوبة الكاثود.

كما اكتشـــف أيضا قدرتها على اختراق الأنسجة للجسم البشري دون العظام، ما دفعه إلى التفكير في عمل تصوير تشـــريحي لجســـم الإنسان لفحص حالة العظام باستخدام الأشعة السينية.

وكانت أول تجربة أجراها رونتغن للتصوير التشـــريحي هي ليد زوجته آنا بيرثا (Anna Bertha).

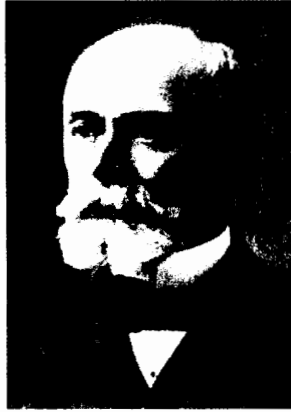
أول صورة تشريحية تؤخذ باستخدام الأشعة السينية ليد زوجة رونتغن: آنا بيرثا ويظهر فيها خاتم في منتصف إصبعها الخنصر

ثم توالت بعدها التجارب في هذا المجال حيث أعلن رونتغن اكتشـــافه هـــذا في يونيو في العام 1896، وذلك بعد 6 أشـــهر من أول ملاحظة له لتلك الأشعة.

وكان هذا الاكتشـــاف هو بداية لثـــورة علمية هائلة في جميع المجالات خصوصـــا الفيزيائيـــة والطبية، حيث بـــدأ الأطباء في أوروبـــا والولايات المتحدة الأمريكية باستخدام الأشـــعة السينية في تحديد مكان الرصاص واستخراجه بســـهولة من أجسام الجنود المصابين. ثم سرعان ما انتشرت

تقنية التصوير بالأشـعة السينية في العالم كله في مجالات الطب البشري وطب الأسنان، وأصبح التصوير الإشعاعي باستخدام الأشعة السينية علما يعرف باسم الراديولوجي (Radiology).

وفي العام 1912 بدأ اســتخدام الأشعة السينية في الصناعة لتصوير المعادن، وذلك بعدما تطورت أجهزة توليد الأشعة السينية وأصبحت قادرة على إنتاج أشــعة ذات قــدرة اختراق عالية. وقد نــال رونتغن جائزة نوبل في الفيزياء على اكتشــافه هذا في العام 1901، كما نال درجة الدكتوراه الفخرية في الطب من كلية الطب في جامعة فورتســبورغ. ولقد توفي في العاشــر من فبراير العام 1923 في مدينــة ميونخ بألمانيا عن عمر يناهز الـ 78 عاما.

2 - انطوان هنري بيكريل Antoine Henri Bequerel (1825 - 1908)

أنطوان هنري بيكريل

هنري بيكريل فيزيائي فرنسي ولد في العام 1852 وترعرع في أسرة علمية. فقد نشــر جده أنطوان سيزار بيكريل العديد من الأبحاث في مجال الكيمياء الكهربية، بينما اكتشــف والده ألكســندر موند بيكريل ظاهرتي الاستشــعاع الضوئــي (fluorescence) والوميــض الفوســفوري (Phosphorescence)،

وفي هاتين الظاهرتين ينبعث ضوء عادي من بعض المواد عند سقوط أشعة عليها، والفرق الوحيد بين الظاهرتين هو أن الانبعاث الضوئي يتوقف بتوقف التشعيع في حالة الاستشعاع الضوئي، بينما يستمر لبعض الوقت بعد انتهاء التشعيع في حالة الوميض الفوسفوري.

واستطاع أنطوان بيكريل من خلال أبحاثه على المواد والعناصر المختلفة أن يكتشف ظاهرة النشاط الإشعاعي التلقائي لعنصر اليورانيوم (Uranium)، حيث كان يدرس ظاهرة الوميض الفوسفوري لبلورات مصنوعة من ملح اليورانيوم، وذلك استكمالا لأبحاث والده بعد وفاته. وكان يضع هذه المادة فوق شرائح فوتوغرافية ثم يعرضها لضوء الشمس، ويقوم بتحميض هذه الشرائح ودراسة شدة الوميض الضوئي المسجل عليها.

وكان في اعتقاده أن هذا الوميض ناتج من تشعيع اليورانيوم ذاته بأشعة الشمس (ظاهرة الوميض الفوسفوري). وفي أحد الأيام كانت سماء باريس ملبدة بالغيوم ولم تظهر الشمس فتصور أن الأفلام الفوتوغرافية بعد تحميضها لن تحتوي على أي وميض ضوئي، لكنه فوجئ بحصوله على درجة الوميض السابق نفسه وبالكثافة نفسها.

الشرائح الفوتوغرافية وعليها آثار الإشعاع المنبعث من اليورانيوم

وكان تفسيره لهذه المشاهدة الجديدة أن مصدر الوميض الضوئي المسجل على الألواح الفوتوغرافية هو نتاج أشعة تنبعث من اليورانيوم ذاته وليس لها علاقة بظاهرة الوميض الفوسفوري.

ولكي يتأكد من هذا الاستنتاج قام بوضع الشرائح الفوتوغرافية التي تحتوي على مادة البوتاسيوم يورانيل سلفات داخل مكان مظلم لمدة ثلاثة أيام ثم قام بتحميض الشرائح فإذا بها تحتوي على القدر نفسه من الوميض الضوئي. وقام بإعلان اكتشافه هذا يوم 24 فبراير في العام 1896 في اجتماع أكاديمية العلوم.

ولقد أثار هذا الكشف العلمي الجديد اهتمام الباحثة ماري كوري التي كانت تعمل على إنهاء رسالة الدكتوراه في هذه الأثناء مع زوجها بيير كوري، فانضما معا إلى العمل مع هنري بيكريل لاستكمال البحث واتفقوا على تسمية هذه الظاهرة الجديدة بالنشاط الإشعاعي التلقائي.

ولفظ نشاط إشعاعي جاء من أن هذا الإشعاع ينبعث بصفة مستمرة من دون أن يتأثر بالمتغيرات الفيزيائية كالحرارة أو الضغط، أي أن هذا الإشعاع دائم النشاط. ولقد اكتشف بيكريل أن هذا الإشعاع المنبعث من اليورانيوم يماثل الأشعة السينية في بعض الجوانب، مثل طاقته العالية، لكنه يختلف عنها في كثير من الخصائص الأخرى، مثل أنه يمكن التأثير فيه في المجال المغناطيسي، أي أنه قد يتكون من جسيمات مشحونة، هي التي عرفت فيما بعد بجسيمات ألفا (Alpha) وبيتا (Beta)، وقد نال بيكريل على اكتشافه هذا جائزة نوبل للفيزياء مناصفة مع آل كوري في العام 1903، وتوفي يوم 25 أغسطس في العام 1908 بإنجلترا.

3 - بيير كوري (1906 - 1859) Pierre Curie وماري كوري Marie Curie (1934 - 1867)

أجرى الفرنسي بيير كوري العديد من الأبحاث الفيزيائية المهمة، ففي العام 1880 نجح مع أخيه جاكوز في اكتشاف خاصية الكهربية الضغطية (Piezoelectricity) لبعض البلورات حيث يتولد

تيار كهربي من هذه البلورات عندما تقع تحت ضغط ميكانيكي، كما استطاع أيضا القيام بأبحاث مهمة على ظاهرة المغناطيسية، مثل تأثير الحرارة فيها، وكذلك كيفية إلغاء المغناطيسية من بعض المواد.

بيير كوري

غير أنه بعد فترة قصيرة من زواجه من البولندية ماري سكلودوفسكا التي أصبحت فيما بعد فرنسية الجنسية وعرفت بماري كوري، بدأ يوجه أبحاثه في المجالات التي تهتم بها زوجته. فبدآ معا في البحث في ظاهرة النشاط الإشعاعي المكتشفة حديثا في خام اليورانيوم. وعلى الرغم من أن هذه الظاهرة قد اكتشفت من قبل هنري بيكريل، فإن مصطلح النشاط الإشعاعي قد تم تعريفه علميا بواسطة ماري كوري. وخلال أبحاثها الكيميائية لاستخلاص خام اليورانيوم اكتشفت ماري كوري أن المادة الخام التي يستخلص منها عنصر اليورانيوم تصدر إشعاعا أكثر من معدن اليورانيوم النقي، بمعنى أن خام اليورانيوم يحتوي على عناصر أخرى مشعة إلى جانب عنصر اليورانيوم، ما أدى إلى اكتشاف عنصري البولونيوم (Polonium) والراديوم (Radium)، ولقد أطلقت ماري كوري اسم البولونيوم على العنصر المكتشف تكريما لدولة بولندا موطنها الأصلي.

وفي العام 1903 مُنح بيير وماري كوري جائزة نوبل في الفيزياء مناصفة مع هنري بيكريل نتيجة لأبحاثهم في مجال النشاط الإشعاعي. وقد توفي بيير كوري بعدها بثلاث سنوات نتيجة لحادث سير في أثناء عبوره الطريق، فشغلت ماري مكان زوجها في جامعة السوربون بفرنسا لتكون بذلك أول امرأة تحتل هذه المكانة خلال 650 عاما من عمر الجامعة.

ماري كوري

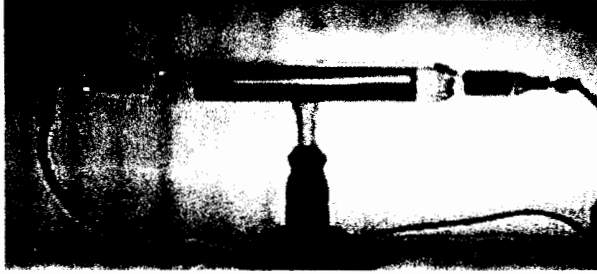
وفي العام 1910 أطلق مؤتمر الطب الإشعاعي لفظ كوري (Curie) على الوحدة الأساسية لقياس النشاط الإشعاعي والتي تعادل النشاط الإشعاعي لغرام واحد من النظير المشع راديوم - 226 (Radium - 226) تقديرا لجهود هذين العالمين. كما حصلت ماري كوري على جائزة نوبل للمرة الثانية في العام 1911 في الكيمياء لاكتشافها الراديوم والبولونيوم، وأصبحت بذلك أول شخص يحصل على جائزة نوبل مرتين. ولقد استطاعت بعد ذلك أن تقوم بأبحاث على استخدام الراديوم في علاج السرطان، غير أنها توفيت في الرابع من يوليو في العام 1934 بسبب أنيميا حادة في الدم التي بلا شك كان سببها الرئيسي هو التعرض المكثف للإشعاع المؤين من دون استخدام أي وسيلة للوقاية الإشعاعية، حيث لم تكن القوانين والتعليمات الخاصة بالوقاية من الإشعاع المؤين قد حددت بعد، نظرا إلى عدم اكتمال المعرفة بالتأثيرات الصحية للإشعاع المؤين في ذلك الوقت.

4 - جوزيف جون تومسون (1856 - 1940) Joseph John Thomson

جوزيف جون تومسون

ولد الفيزيائي جوزيف جون تومســـون في الثامن عشـــر من شهر ديسمبر في العام 1856 قرب مدينة مانشستر بإنجلترا. ودرس الفيزياء والرياضيات في جامعة مانشســـتر ثم حصل على منحة دراسية في جامعة كامبريدج حيث أنهى دراسته الجامعية وواصل الدراسات العليا فيها. وفي العام 1884 عمل بروفيسورا في مختبرات كافنديش بالجامعة.

وهناك تدرب على يد العالم الكبير ماكســـويل، إذ اشترك معه في أبحاثه على الكهرومغناطيسية. في العام 1896 وبعد إعلان رونتغن اكتشافه للأشعة الســـينية وجد في نفسه رغبة شديدة في فهم وتفســـير أشعة أنبوبة الكاثود التي تنطلق مـــن الكاثود وتصطدم بالآنود. وبعد تجـــارب عديدة على أنبوبة الكاثود أعلن تومســـون في العام 1897 فرضيات ثلاث وهي أن هذه الأشعة عبارة عن جســـيمات دقيقة وأن الذرة تتكون من هذه الجســـيمات، وأن هذه الجسيمات هي المكون الوحيد للذرة.

ولقـــد ثبت فيما بعد صحة الافتراضين الأولين بينما ثبت خطأ الافتراض الثالث، حيث ثبت وجود نواة للذرة تدور حولها الإلكترونات. وفي العام نفسه أعلـــن أيضا نجاحه في قياس كتلة وشـــحنة هذه الجســـيمات التي ســـميت فيما بعد بالإلكترونات، حيث أمكنه قياس مقدار انحراف هذه الأشـــعة عند تطبيق مجال مغناطيســـي معلوم القوة عليها، كما اكتشف أن هذه الجسيمات (الإلكترونات) سالبة الشحنة وتمكن من حساب مقدار الطاقة الكلية لها.

أنبوبة أشعة الكاثود

وقد مكنته هذه القياسات من حساب نسبة الكتلة إلى الشحنة الكهربية لهذه الجسيمات، وواصل أبحاثه في مجال التفريغ الكهربي للغازات، حيث حصل في العام 1906 على جائزة نوبل لأبحاثه العملية والنظرية في هذا المجال، إضافة إلى اكتشافه الإلكترونات أحد مكونات الذرة، وهو ما فتح المجال أمام اكتشاف بقية مكونات الذرة. توفي تومسون في 30 أغسطس العام 1940 عن عمر يناهز أربعة وثمانين عاما حافلة بالبحث العلمي الدؤوب.

5 - إرنست رذرفورد Ernest Rutherford (1871 - 1937)

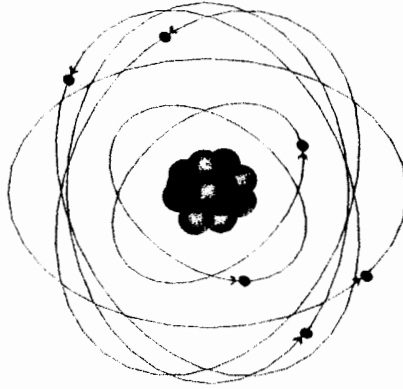
إرنست رذرفورد

ولد إرنست رذرفورد بنيوزيلندا في العام 1871، وفي أثناء دراسته في جامعة كانتربرى أظهر نبوغا عاليا في الرياضيات والطبيعة ما أهله للحصول على منحة دراسية في جامعة كامبريدج في إنجلترا، حيث عمل مساعدا للعالم الكبير تومسون مكتشف الإلكترون.

وسرعان ما توالت إنجازاته واكتشافاته العلمية في مجال الذرة حتى لقب بـ «أبو الفيزياء النووية» عن جدارة واستحقاق. فقد استطاع هذا العالم أن يصف المبادئ النظرية للذرة ويفسر ظاهرة النشاط الإشعاعي (Radioactivity)، كما استطاع أن يكتشف ويسمي ويصف خصائص الجسيمات المنبعثة إشعاعيا: أشعة ألفا (Alpha Particles) وأشعة بيتا (Beta Particles) والبروتونات (Protons)، كما تنبأ أيضا بوجود النيترونات (Neutrons) التي اكتشفها فيما بعد جيمس شادويك، كما قام أيضا بتسمية ووصف أشعة غاما (Gamma) واستكشاف خصائصها، وذلك استكمالا للأبحاث التي نشرها الفيزيائي الفرنسي بول فيلارد (Paul Villard) الذي يعتبر أول من اكتشف وجود أشعة غاما في العام 1900 خلال إجرائه بعض التجارب على الأشعة الصادرة من عنصر الراديوم، حيث وجد أن بعض هذه الأشعة ينحرف بفعل المجال المغناطيسي - أشعة بيتا وأشعة ألفا - بينما وجد أشعة أخرى لا تتأثر إطلاقا بالمجال المغناطيسي وهي أشعة غاما.

لاحظ رذرفورد أن هذه الأشعة تشبه تماما الأشعة السينية، إضافة إلى كونها تصدر تلقائيا من نواة العنصر المشع في أثناء عملية اضمحلاله ولا تنتج صناعيا مثل الأشعة السينية، ووضع أيضا المعادلة التي يمكن من خلالها حساب اضمحلال (Decay) العناصر المشعة وأيضا ثابت الاضمحلال (Decay Constant) وزمن عمر النصف (Half Life Time) للعنصر المشع.

كما استطاع رذرفورد أن يثبت تحول العناصر المشعة التي تشع جسيمات مشحونة مثل ألفا وبيتا إلى عناصر أخرى مثل تحول عنصري اليورانيوم (Uranium) والثوريوم (Thorium) إلى عناصر أخرى خلال عملية الاضمحلال الإشعاعي التلقائي، وذلك بمساعدة العالم فردريك سودي (Fredric Suddy)، وحصل رذرفورد على جائزة نوبل في الكيمياء في العام 1908 تقديرا لهذه الاكتشافات.

وفي العام 1909 وفي جامعة مانشستر، قام رذرفورد بقذف شريحة ذهبية رفيعة بجسيمات ألفا، ولاحظ بعدها أنه على الرغم من أن أغلب الجسيمات المقذوفة قد نفذت من الشريحة فإن جسيما واحدا لكل 8000 جسيم قد تشتت أو ارتد إلى الخلف، ومن خلال هذه المشاهدة استنتج رذرفورد أن كتلة الذرات تتركز في نواة صغيرة موجبة الشحنة تتوسط الذرات وهي التي تؤدي إلى تشتت الجسيم المقذوف وارتداده إلى الخلف إذا اصطدم بها، حيث تتنافر الشحنات الموجبة لكل من النواة والجسيم المقذوف، بينما تدور الإلكترونات حول هذه النواة في مدارات واسعة نسبية متباعدة عن النواة وعن بعضها البعض، مما يخلق بينها فراغات كبيرة تنفذ من خلالها الجسيمات المقذوفة. كما هو موضح في الصورة أدناه.

رسم توضيحي للذرة وتتكون من النواة في المنتصف
وتدور حولها الإلكترونات في مدارات مختلفة

وما زال هذا النموذج المخطط للذرة صالحا حتى الآن على الرغم من مرور كل هذه الأعوام من الدراسة والبحث عدا تعديل طفيف أدخله فيما بعد العالم بوهر وهو أن الإلكترونات تدور في مستويات طاقة محددة حول النواة. في العام 1919 قام رذرفورد بآخر اكتشافاته العظيمة في معامل جامعة كامبردج وهو التغيير أو التبديل الصناعي للتركيب الذري والنووي، حيث قام بقذف أنوية عنصر النيتروجين بجسيمات ألفا فأنتج أنوية عنصر الأكسيجين، وقد تناقلت الصحف هذا الخبر أن رذرفورد قد نجح في شطر (Fission) الذرة.

دفن رذرفورد بعد وفاته في العام 1937 بجوار العالم إسحق نيوتن في مدينة ويستمنستر آبي في إنجلترا.

6 - جيمس شادويك (1974 - 1891) James Chadwick

ولد هـذا الفيزيائي البريطانـي في أكتوبر من العـام 1891 بمدينة تشيشـاير وتخرّج فـي جامعة مانشسـتر في العـام 1911، حصل على الماجسـتير فـي العام 1913 من خـلال أبحاثه مع أسـتاذه رذرفورد في مجال النشاط الإشعاعي، ثم سافر إلى ألمانيا للعمل مع العالم هانز جيجر الذي سـاهم في تصميم الكاشـف الإشـعاعـي المعـروف باسـم غيغر موللر(Geiger Muller) في جامعة برلين.

جيمس شادويك
مصمم المفاعل النووي

هانز غيغر
مصمم الكاشف الإشعاعي

ثم عاد إلى إنجلترا في العام 1919 ليواصل دراساته وأبحاثه مع العالم رذرفـورد بجامعة كامبريدج، ونجحا معا فـي تجارب تحويل العناصر إلى عناصر أخرى من خلال قذف أنويتها بجسيمات ألفا.

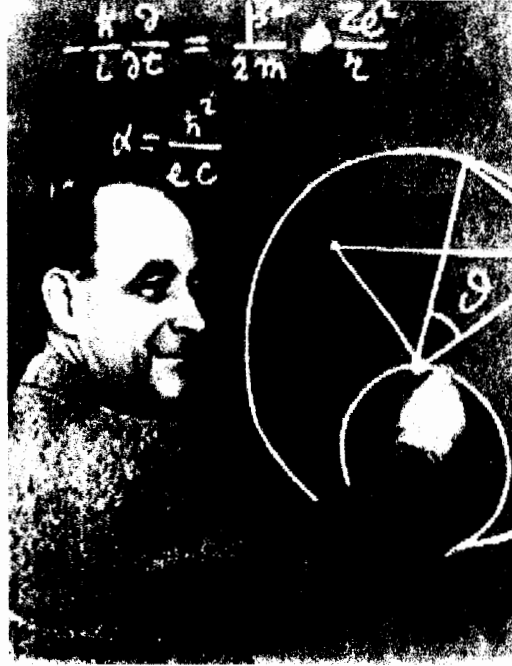
وفـي العام 1932 اكتشـف النيترونـات (Neutrons) وذلك عندما لاحظ انبعاث جسيمات من أنوية عنصر البريليوم - 11 (Beryllium 11) بعد قذفها بأشـعة ألفا، كما لاحظ أيضا أن هذه الجسـيمات المنبعثة تتسبب في انبعاث

بروتونات (Protons) من أنوية عناصر أخرى. وقد استنتج من هذه المشاهدات أن الجسيمات المحررة من أنوية البريليوم - 11 لا بد أن تكون متعادلة كهربيا مما يمكنها من اختراق أنويه العناصر بسهولة، حيث لا يوجد تنافر كهربي بينها وبين النواة الموجبة الشحنة، وأن كتلتها تساوى كتلة البروتونات مما يمكنها من دفع البروتونات خارج النواة أثناء تصادمها معها، حيث تفقد النيترونات طاقة حركتها خلال هذا التصادم وتستقر داخل النواة، بينما تكتسب البروتونات طاقة الحركة وتندفع إلى خارج النواة. ولقد فتح هذا الاكتشاف الباب أمام إنتاج نظائر مشعة (Radioisotopes) صناعيا من خلال تشعيع أنوية العناصر المستقرة بالنيترونات فتتحول إلى عناصر غير مستقرة.

كما مهد شادويك الطريق أمام تجارب الانشطار النووي (Nuclear Fission) والتي يتم فيها قذف أنوية العناصر القابلة للانشطار مثل اليورانيوم - 235 (Uranium - 235) بالنيترونات فيحدث الانشطار النووي المتسلسل والذي بنيت عليه فكرة تصميم المفاعلات النووية (Nuclear Reactors) . وتقديرا لاكتشافه هذا، فقد حصل على جائزة نوبل في العام 1935، وفي العام نفسه انتقل شادويك إلى جامعة ليفربول للعمل كأستاذ للفيزياء، وفي العام 1940 سافر إلى الولايات المتحدة الأمريكية وكندا بهدف خلق تعاون في مجال الأبحاث النووية مع العلماء والباحثين بالدولتين. وبعدها بقليل التحق بمشروع مانهاتن بالولايات المتحدة الأمريكية حيث تم تطوير القنابل النووية والتي استخدمت في أواخر الحرب العالمية الثانية العام 1945 في ضرب مدينتي هيروشيما وناغازاكي اليابانيتين. وبعد انتهاء الحرب عاد شادويك للعمل بجامعة كامبريدج واستمر في عمله حتى توفي في الرابع والعشرين من يوليو العام 1974 عن عمر يبلغ ثلاثة وثمانين عاما.

7 - إنريكو فيرمي Enrico Fermi (1901 - 1954)

ولد الفيزيائي الإيطالي إنريكو فيرمي في سبتمبر من العام 1901، وحصل على الدكتوراه في الفيزياء في العام 1922 من جامعة بيزا بإيطاليا ثم عمل بعد ذلك محاضرا ثم أستاذا للفيزياء النظرية بجامعة

روما، وقد استفاد كثيرا من تجارب رذرفورد الخاصة بقذف أنوية العناصر بجسيمات ألفا بهدف إنتاج عناصر جديدة، حيث فكر في استخدام النيترونات التي اكتشفها شادويك وذلك لقذف الأنوية بها.

إنريكو فيرمي

مؤسس أول مفاعل نووي

وقد حصل على جائزة نوبل في العام 1938 لنجاحه في توصيف نظريتي إنتاج عناصر جديدة بعد قذفها بالنيترونات وانشطار أنوية العناصر الثقيلة مثل اليورانيوم 235- عند قذفها بالنيترونات البطيئة، وقاده الاكتشاف الخاص بشطر أنوية اليورانيوم إلى التفكير في تصميم وبناء مفاعلات نووية، ونجح بالفعل في بناء أول مفاعل نووي في العالم بجامعة شيكاغو بالولايات المتحدة الأمريكية في الثاني من ديسمبر في العام 1942 وسمي بمفاعل فيرمي.

وهـــو ما يعتبر حدثا علميا عظيما حيــث إن المفاعل النووي ينتج طاقة هائلـــة تســـتخدم في توليد الكهربـــاء بالإضافة إلى إنتاج النظائر المشـــعة صناعيا، ومن أهم هـــذه النظائر المولبدينـــوم 99 - (Molybdenum - 99)، الـــذي يســـتخـــدم في مولـــدات التكنيشـــيوم – 99م (Techntium - 99m) وذلك إضافة إلى كل من اليود – 131 (Iodine-131) واليود – 125 (Iodine - 125) والفســـفور – 32 (Phosphorous - 32) والسترينشـــيوم – 89 (Strontium - 89) والكروم – 51 (Chromium - 51)، وكلها نظائر مشعة تستخدم في إجراء الفحوصات الطبية والعلاج في مجال الطب النووي.

بالإضافـــة إلى إنتـــاج الكوبالت – 60 (Cobalt - 60) والذي يســـتخدم أحيانا في علاج الأورام الخبيثة كمصدر مشـــع لأشعة غاما بعملية تسمى علاج الأورام بالأشعة العميقة.

مفاعل فيرمي (أول مفاعل أنشئ في العالم)

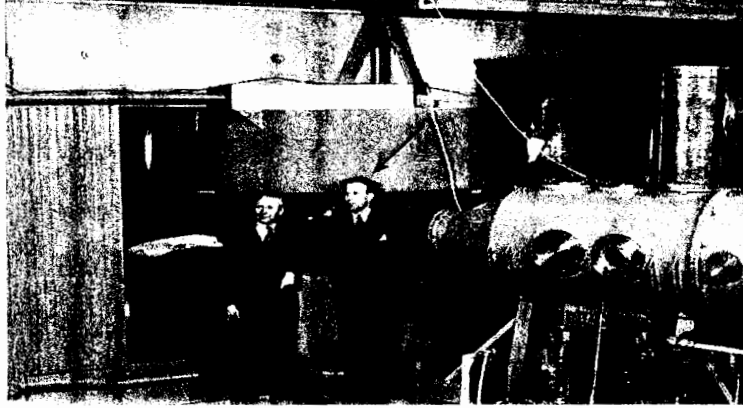
في العام 1944 سافر إلى مدينة لوس ألاموس بولاية نيو مكسيكو بأمريكا لمتابعة تجارب التفجير النووي الخاصة بمشروع مانهاتن لإنتاج وتطوير القنابل النووية، وفي العام 1946 أصبح عضوا بمعهد الدراسات النووية الذي أسس في هذا الوقت بجامعة شيكاغو والذي أعيدت تسميته فيما بعد بمعهد فيرمي للأبحاث النووية، وقد واصل العمل بجد واجتهاد حيث ساهم في أبحاث تطوير المعجِّل النووي الدائري (Cyclotron) الخاص بجامعة شيكاغو، إلى جانب محاولاته لتطوير المفاعلات النووية من خلال نشره العديد من الأبحاث الخاصة بتفاعل النيترونات ذات الطاقات المختلفة مع أنوية اليورانيوم - 235، وقد توفي فيرمي بمدينة شيكاغو الأمريكية يوم 28 نوفمبر من العام 1954 عن عمر ناهز ثلاثة وخمسين عاما.

8 - إرنست أورلاندو لورانس (1901 - 1958) Ernest Orlando Lawrence

إرنست أورلاندو لورانس

مكتشف المعجل النووي

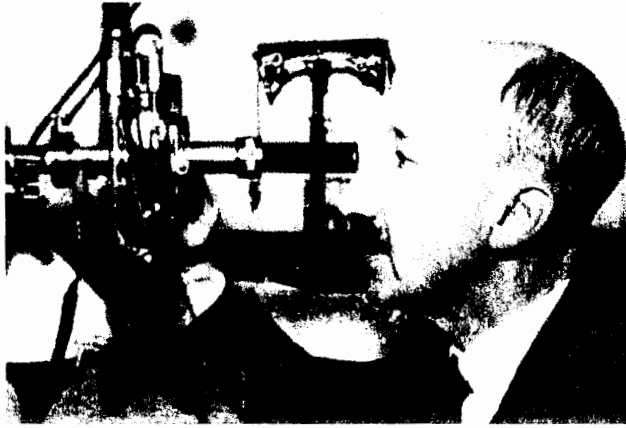
ولد الفيزيائي الأمريكي إرنست لورانس في العام 1901 بمدينة كانتون بولاية ساوث داكوتا بالولايات المتحدة الأمريكية. وفي العام 1925 حصل على الدكتوراه في الفيزياء من جامعة ييل بمدينة

نيــو هافن الأمريكيـــة، وبعدها بعامين عمل بكليـــة الفيزياء بجامعة كاليفورنيـــا بمدينة بيركلـــي، حيث نجح في اختـــراع المعجل النووي الدائري (الســـيكلترون Cyclotron) الذي يقوم بتعجيل الجســـيمات المشـــحونة لطاقات عالية جـــدا مما يمكنها من التغلـــب على طاقة التنافـــر الكهربية عند قذفها على أنوية ذرات عناصر أخرى، ويؤدي هذا التصادم بين الجســـيم المقذوف والنواة الهدف إلى إنتاج نظائر مشعة جديدة. وفي العام 1939 نال لورانس جائزة نوبل في الفيزياء لاختراعه المعجل النووي.

إرنست أورلاندو لورانس أمام أحد المعجلات النووية الذي بدأ تشغيله في العام 1939

(قطر المعجل 150 سم)

ومن أهم النظائر المشـــعة التي تُنتَج باستخدام المعجل النووي الكوبالت - 57 (Cobalt - 57) والغاليـــوم - 67 (Galium - 67) والكربـــون - 11 (Carbon - 11) والنيتروجين -13 (Nitrogen - 13) والأكســـيجين - 15 (Oxygen - 15) والفلوريـــن - 18 (Florien - 18)، والتـــي تســـتخدم أيضا لإجراء الفحوصات الطبية في الطب النووي باستخدام جهاز الغاما كاميرا وجهاز التصوير البوزيتروني. توفي لورانس يوم 27 أغسطس العام 1958 عن عمر يناهز الـ 57 عاما.

9 - جورج دي هيفيساي (1885 - 1966) George de Hevesy

ولد العالم المجري جورج دي هيفيساي في العام 1885 في مدينة بودابست بالمجر (هنغاريا). وفي العام 1908 حصل على درجة الدكتوراه من جامعة فرايبورغ بألمانيا ثم عمل لمدة عامين بمعهد الكيمياء الطبيعية بالجامعة الفنية بسويسرا كمساعد للبروفيسور فريتز هابر، ثم سافر إلى إنجلترا في العام 1910 ليدرس على يد العالم إرنست رذرفورد بجامعة مانشستر، وفي العام 1920 انتقل إلى معهد نيلز بوهر بمدينة كوبنهاغن.

جورج دي هيفيساي واضع مبدأ النظائر المشعة في الطب

تركزت أبحاث هيفيساي في مجال فصل المواد المشعة، حيث حاول فصل نظيري الرصاص المشع والمستقر أحدهما عن الآخر باستخدام وسائل كيميائية، وبعد أبحاث مضنية باءت جميع المحاولات بالفشل اهتدى إلى استخدام نظير الرصاص المشع كمقتفي أثر لعنصر الرصاص أثناء تفاعله كيميائيا وحيويا، وبناء على ذلك فقد أسس مبدأ علميا مهما فتح المجال أمام الأبحاث الطبية وغيرها، ومثال ذلك استخدام المواد المشعة في إجراء الفحوص الطبية حيث تربط المادة المشعة بمادة كيميائية تمتص داخل العضو المطلوب فحصه بجسم المريض، مما يؤدي إلى تحويل هذا العضو إلى عضو مشع يتم مسحه إشعاعيا بأجهزة معينة لاختباره وظيفيا، وهي الفكرة الأساسية للطب النووي.

وبفضل إرســـائه لفكرة اســـتخدام النظائر المشعة بدأت دراسة وظائف أعضاء الجسم البشري باستخدام الطب النووي. ففي العام 1940 دُرست الغــدة الدرقية من خلال اســـتخدام اليود المشـــع - 131 (Iodine - 131 I)، حيث أمكن تحديد مستوى النشـــاط للغدة الدرقية، ومع تطور الأبحاث تمكــن العلماء من عـــلاج بعض حالات اضطراب الإفـــراز الهرموني للغدة باســـتخدام اليود المشـــع - 131، ومن مآثر اكتشاف العلاج باليود المشع - 131 أن تم عـــلاج العديد من المرضى بالغدة الدرقية ومنهم كوكب الشـــرق السيدة أم كلثوم، حيث بدأت رحلة علاجها بالولايات المتحدة الأمريكية في العام 1946 بناء على نصيحة الســـفير الأمريكي بالقاهرة بدلا من مخاطر التدخل الجراحي والتي يمكن أن تتسبب في إنهاء المشوار الفني لها مبكرا في حال إصابة الأوتار الصوتية أثناء إجراء الجراحة، ولقد تعافت أم كلثوم من مرض زيادة نشاط الغدة بعد العلاج باليود - 131 المشع وعادت لتطرب الملايين في الشـــرق الأوسط بل وفي العالم كله، حتى وافتها المنية في العام 1975 بعد مضي أكثر من عشرين عاما على علاجها باليود المشع.

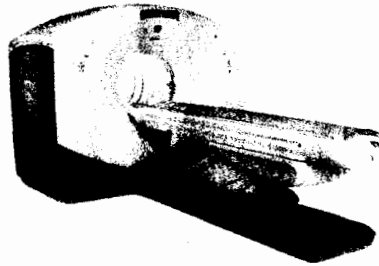
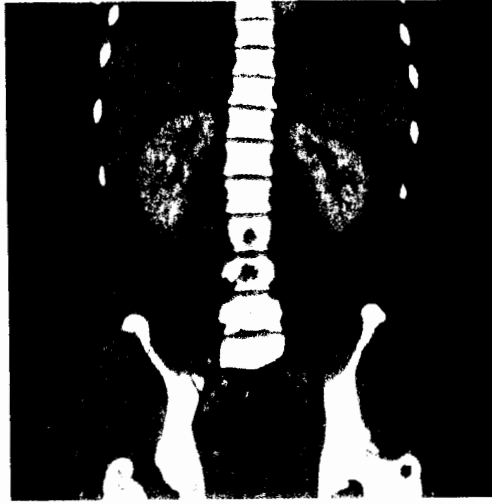
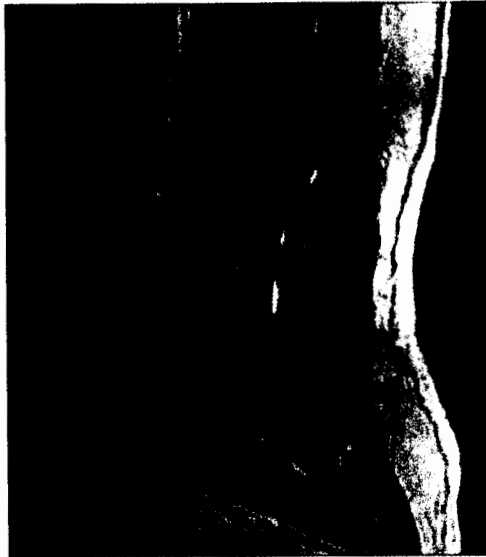
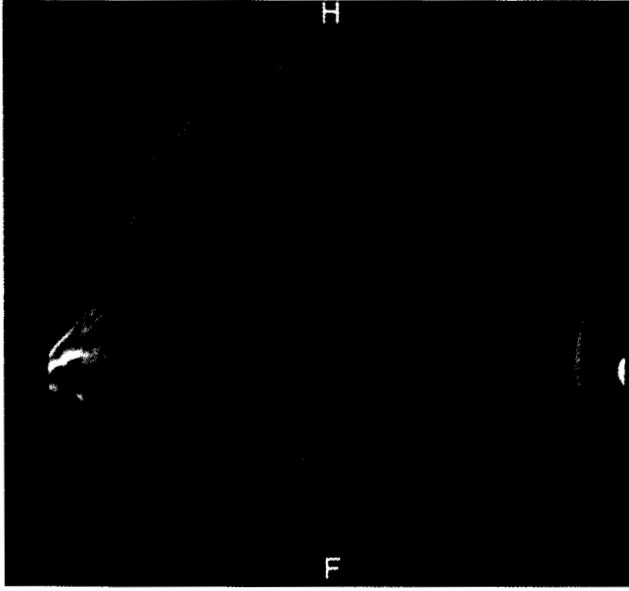
ولقد امتدت أبحاث دي هيفيســـاي من استخدام النظائر المشعة الطبيعية كالرصاص المشـــع إلى اســـتخدام النظائر المشـــعة المصنعة كالفوسفور - 32 (Phosphorus - 32) والصوديـــوم - 22 (Sodium-22)، وفي العام 1943 نال جائزة نوبل في الكيمياء لإرسائه مبدأ استخدام النظائر المشعة في الفحوصات الطبية. توفي جورج هيفيســـاي في الخامس من يوليو في العام 1966 بمدينة فرايبورغ بألمانيا عن عمر 81 عاما.

عصر التطبيقات الطبية

نعرض هنا تاريخ التطورالعلمي والتقني في الاكتشافات التي لها علاقة بالطب؛ حيث إنها أكثر ما يمس حياتنا ويؤثر فيها.

في خمســـينيات القرن الماضي بدأت سلســـلة من التغيرات باستخدام الإشـــعاع المؤيـــن وغير المؤين في تشـــخيص الأمراض بعد ســـنوات طوال من اســـتخدام الأشعة الســـينية العادية، وأدى هذا إلى تصنيع العديد من الأجهزة بدءا بأجهزة الموجات الصوتية التي تطورت فيما بعد وتســـتخدم حتى يومنا هذا.

مثال لفحص بالموجات الصوتية يظهر خراجا بالبطن

في أوائل السبعينيات بدأ استخدام الأشعة المقطعية التي تستخدم أيضا الأشعة السينية لكن بخصائص للأجهزة تمكن من رؤية مقاطع عرضية للجسم بمختلف أعضائه، وزاد هذا الاستعمال من القدرة على التشخيص المرضي، وقد تطورت هذه الأجهزة وزادت قدرتها على تزويد الأطباء بعدد أكبر من المقاطع العرضية والطولية حتى إنه أصبح بالإمكان رؤية الجسم مقسما إلى مقاطع متعددة تفصلها ملليمترات معدودة. ثم اكتشف الرنين المغناطيسي الذي يعطي أيضا صورا لمقاطع الجسم، والذي يفيد خصوصا في تشخيص أمراض المخ والعمود الفقري، وهو لا يستخدم إشعاعات لكنه يستخدم مجالات مغناطيسية قوية تحدث تغيرات في تركيب الذرات، تلتقط بالكاميرات وتحول إلى صور عالية النوعية.

جهاز حديث للأشعة المقطعية

صورة للمقاطع

فحص طبيعي بالرنين المغناطيسي للعمود الفقري

صورة بالرنين المغناطيسى للمخ تظهر التفاصيل
التشريحية بدرجة عالية من الوضوح

وما سـبق يمثل التغيـرات التي حدثت فيما يسـمى بالتصوير الطبي التشـريحي. حيث إنه يضطلع أساسـا بإظهار الخصائـص التركيبية أو التشريحية للأعضاء والأمراض.

أما بالنسـبة إلى التصوير الطبي الوظيفي، والذي يعتمد أساسا على اسـتخدام الإشـعاعات النووية، ويظهر التغيرات الوظيفية الطبيعية التي تعتمد علـى التغييرات في وظائف الأعضاء أو الخلايا عند وجود خلل أو مرض فقد تغير بصورة سريعة وأدى إلى ثورة في التشخيص المبكر ومتابعة التطور لكثير من الأمراض. وقد بدأت هذه التطورات في الخمسينيات من القرن الماضي بإنتاج الغاما كاميرا التي تلتقط الأشـعة النووية من جسـم المريض وتنتج صورا تمكن الطبيب من تشـخيص الأمراض، وكان من قدم الكاميـرا الأولى من هذه الكاميرات هو هـال أنغر (Hal Anger) ، لذلك فإن هذه الأنواع من الكاميرات ظلت فترة طويلة تسمى بكاميرات أنغر.

دكتور هال أنغر مكتشف كاميرا التصوير بالجاما

ثم تطــورت تلك الكاميرا منــذ ذلك الحين وتحســنت نوعية الصورة الصادرة عنها، وأضيفت إليها قابلية الحصول على صور مقطعية.

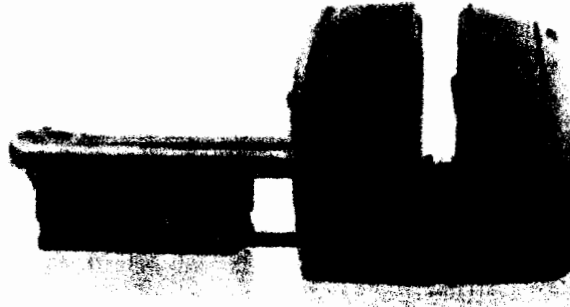
صورة أخرى لغاما كاميرا حديثة ذات رأسين ولها أيضا قابلية التصوير المقطعي

صورة لغاما كاميرا ذات رأس واحد ولها قابلية الدوران
حول جسم المريض للحصول على صور مقطعية

فحص للغدة الدرقية باستخدام
جهاز بدائي لأشعة غاما

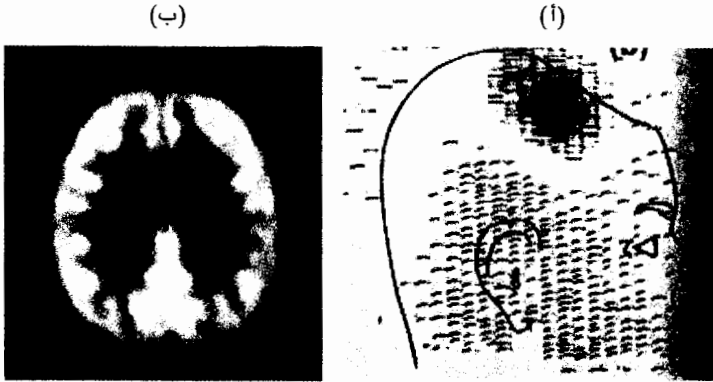
فحص للغدة الدرقية باستخدام
التصوير بجهاز حديث والفرق واضح
بالمقارنة مع الصورة على اليمين

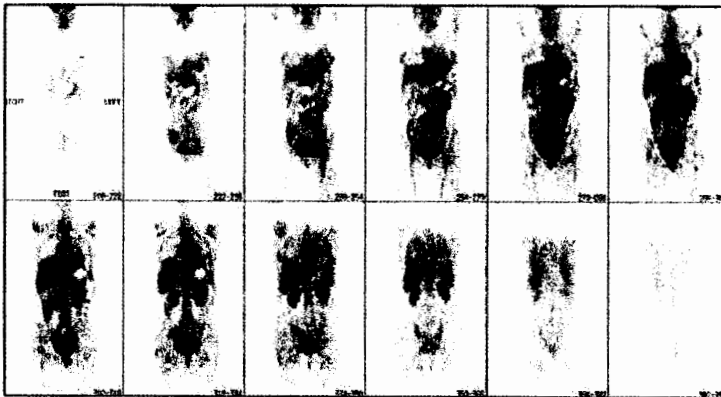
ثم أُنتج جهاز التصوير البوزيتروني الذي بدأت محاولات إنتاجه منذ منتصف القرن الماضي والذي يستطيع أن يظهر التغيرات الأيضية بالتصوير، مما ساعد على فهم كثير من الأمراض بعمق أكثر، ويساهم أيضا في التشخيص المبكر حيث إن رؤية التغيرات الوظيفية تسبق

التغيرات التشـــريحية ويساعد على تقييم تأثير الأدوية على الأمراض، وخصوصـــا الأورام الســـرطانية، مبكرا مما يتيح تعديل العلاج ســـواء كما أو كيفا. وأخيرا أُنتجت أجهزة تجمع بين تلك الكاميرات والأشـــعة المقطعية لتســـاعد علـــى تحديد دقيـــق للموقع التشـــريحي للتغيرات الوظيفيـــة والأيضية. وقد اختارت مجلة «التايم» الأمريكية هذا التطور كأهم الاكتشافات لعام 2000.

جهاز البوزيترون مع الأشعة المقطعية

صفحة من مجلة «التايم» الأمريكية التي اختارت الجمع بين جهاز البوزيترون والأشعة المقطعية كالاكتشاف العلمي للعام 2000

ولقد تطور التصوير البوزيتروني بسرعة فائقة من حيث نوعية التصوير مثلما حدث في تصوير المخ البشري كما هو واضح في الصورة.

(ب) (أ)

صورة للمخ باستخدام التصوير البوزيتروني
في العام 1953 (أ) وأخرى في التسعينيات (ب)

وكذلك القدرة على تصوير الجسم بالكامل كما هو واضح في الصورة أدناه.

صورة من تصوير بوزيتروني لكامل الجسم

وبعـد إدماج جهاز الأشـعة المقطعيـة أضيفت القدرة علـى التحديد التشريحي الواضح للتغييرات الوظيفية.

تصوير بوزيترونـي (الصورة العلوية) يظهر ورما خبيثا صغير الحجم، والـذي أمكن تحديد موقعه التشـريحي بدقة أكبر فـي الصورة التي تجمع التصوير البوزيتروني مع الأشـعة المقطعية (الصورة السـفلى)

2

مفاهيم أساسية

هنـــاك أمـــور أساســـية لا بـــد مـــن معرفتها لكي نستطيع فهم الاستخدامات والتأثيرات الخاصة بالإشـــعاع. وتتضمن هـــذه الأمـــور تعريـــف الإشـــعاع والذرة ومكوناتهـــا وماهيـــة النظائـــر المشـــعة والموجـــات الكهرومغناطيســـية، ثم أنواع الإشعاع الذري.

الإشعاع

يُعرَّف الإشـــعاع في علم الفيزياء بأنه طاقة تنبعـــث من مصدر ما، وتنتقل خلال الوســـط المحيط بها، وهو إما وسط مادي أو فـــراغ. وقد يحـــدث تفاعـــل بين هذه الطاقة المنبعثة والوسط المحيط فيمتصها أو يمتص جـــزءا منهـــا، أو تخترقه بدون حدوث تفاعل يذكر بينهما. وبناء على ذلك

«تسمى عملية تحلل مكونات النواة أو انقسامها بالتحلل الإشعاعي التلقائي، وينتج عنها انطلاق جسيمات قد تصاحبها موجات كهرومغناطيسية بطاقة نووية. وهذه الجسيمات والموجات تعرف بالإشعاع النووي (أو الإشعاع الذري) المؤين»

المؤلفان

ارتبطت كلمة إشـــعاع بثلاث كلمات أخرى هي انبعاث وانتقال وامتصاص. وعليه فإن التعريف الدقيق لكلمة إشعاع هو طاقة في حالة انتقال (Energy in Transient). والإشـــعاع يكون على هيئة موجات أو جســيمات، وتعتمد طاقته على مصدره. والإشعاع نوعان: مؤين وغير مؤين.

تعني الأشعة غير المؤينة أي نوع من الإشعاع لا يملك طاقة كامنة لإحداث تغيير تركيبي في الذرات أو الجزيئات، بمعنى أنه لا يسبب انفصالا كاملا لإلكتـــرون من الذرة أو الجزيء، وعليه فلا تنتج عنه أيونات ذات شـــحنة، ولكنه قد يسبب فقط عدم استقرار ناتجا عن تحريك الإلكترون إلى مدار آخر مع اكتساب طاقة أعلى، على الرغم من هذا فإن هناك بعض التأثيرات لبعض أنواع الإشعاع غير المؤين، وخاصة عند التعرض لكثير منها.

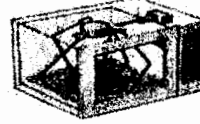
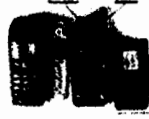
وتتكون أشـــعة الشـــمس في أغلبها من إشـــعاع غير مؤيـــن، فيما عدا جزءا بســيطا من الأشـــعة فوق البنفسجية. ومن حســـن الحظ أن معظم الإشعاع المؤين الناتج من الشمس تتم فلترته في الغلاف الجوي (عن طريق طبقة الأوزون)، ولا يصل إلا جزء بســيط منـــه إلى الأرض. وبصفة عامة فالإشعاعات غير المؤينة تسبب سخونة النسيج المتعرض لها.

والإشـــعاع غير المؤين ينبعث من مصادر طبيعية كضوء الشمس ومصادر من صنع الإنســـان كالاتصالات اللاسلكية، ومن استخدام بعض التطبيقات الصناعيـــة والعلمية والطبية. والأشـــعة غيـــر المؤينة لها مســـتويات طاقة منخفضة وموجات واســـعة، وتشـــمل موجات الراديو والميكروويف والأشعة تحت الحمـــراء الصادرة من لمبات الحرارة وإشـــعاعات التلفونات المحمولة وأســـلاك الكهرباء والموجات فـــوق الصوتية (الجدول أدنـــاه والصورة التي تليـــه). وعلى الرغم من انخفاض تلـــك الطاقة فإنها تكفي للتأثير في ذرات المواد، فعلى ســـبيل المثال هي تكفي لتسخين الماء في المأكولات، حيث تسبب تذبذبـــات جزيئات الماء في الطعام المراد تســـخينه، ولكنهـــا لا تملك طاقة كافية لإحداث تغييرات تركيبية في أنسجة الإنسان كإزالة إلكترون من الذرة عندما تمر خلالها، كما هي الحال في الأشعة المؤينة، بل تسبّب فقط - كما ذكـــر - تذبذب الإلكترونات التي قد تنتقل مـــن مدار إلى آخر في الذرّة مع زيادة مستوى الطاقة.

أما الأشعة المؤيّنة فعندما تمر خلال وسط محيط ينتقل جزء من طاقة الإشـعاع إلى إلكترونات ذرات الوسـط المحيط، فتمتصه، مكتسبة بذلك طاقة حركة تزيد عن طاقة الربط الذري فتنطلق الإلكترونات متحررةً من ذراتها ومسـببة انقسـام الذرة المتعادلة كهربيا إلى أيونين أحدهما سالب الشحنة (وهو الإلكترون أو الإلكترونات المحررة)، والثاني ذو شحنة موجبة (وهو الجزء المتبقي من الذرة بعد خروج الإلكترونات منها).

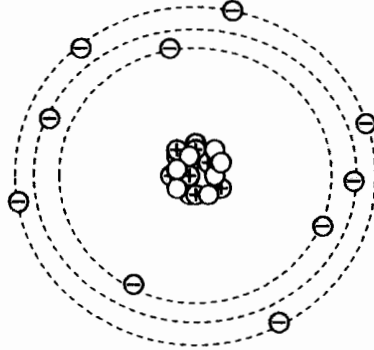
وكمـا ذكر، ففي الإشـعاع غير المؤين تكون الطاقـة الممتصة داخل الوسـط المحيط أقل من طاقة ربط الإلكترونـات بذراتها، فلا يحدث تأيين. ومصادر الإشـعاع عموما إما طبيعيـة (Natural sources) من صنع الله سـبحانه وتعالى كالشـمس والتربة، وإمـا صناعية، أي من صنع البشر (Manmade) كالأشعة الصادرة من أجهزة توليد الأشعة السـينية أو أجهزة اللاسـلكي وخلافه. وسوف نعرض مصادر الإشعاع في باب لاحق منفصل.

انواع الإشعاع الأساسية

النوع	أمثلة
موجات إشعاع كهرومغناطيسية غير مؤينة	■ موجات الراديو - الميكروويف
	■ الموجات تحت الحمراء (الحرارة)
	■ الضوء
	■ معظم الأشعة فوق البنفسجية أشعة الشمس
موجات إشعاع كهرومغناطيسية مؤينة	■ جزء بسيط من الأشعة فوق البنفسجية
	■ الأشعة السينية
	■ أشعة غاما
جسيمات مشعة مؤينة	■ أشعة ألفا
	■ أشعة بيتا السالبة والموجبة
	■ النيوترونات
	■ البروتونات
	■ الأشعة الكونية

أمثلة من مصادر إشعاع غير مؤين

الذرة وتركيبها

الــذرة هي أصغر بناء تتكون منه المواد، حيــث تتحد بعض الذرات مع بعض مكونــة جزيئات، وهذه الجزيئات تتحد لتكــون البلّورات... وهكذا، وتســمى فــي اللغة الإنجليزيــة بالـ «atom»، وهو اســم مشــتق من اللغة اليونانية القديمة، ومعناه الشيء غير القابل للتجزئة. وتتكون الذرة من نواة موجبة الشحنة وكثيفة الكتلة يحيط بها غلاف من الإلكترونات (e) سالبة الشــحنة. والنواة تتكون من بروتونات (P) موجبة الشحنة ونيوترونات (n) متعادلة الشــحنة، وتســمى مكونات النواة هذه بالنيوكليونات. وقطرالنواة

أصغــر بكثير من قطــر الغلاف الإلكتروني المحيط بالــذرة (قطر الذرّة)، ومثــال لذلك ذرة الهيدروجين، حيث يكون قطر الذرة في حدود 1 × 10-10مترا، بينما يكون قطر النواة في حدود 1 × 10-15متر.

⊖ الكترون ⊕ بروتون ○ نيوترون

والذرة هي بناء متعادل كهربيا، وهذا يعني أن عدد البروتونات في نواة الذرة يتساوى تماما مع عدد الإلكترونات الموجودة بالغلاف المحيط بالنواة، حيث إن البروتونات والإلكترونات لها شحنات كهربية متساوية في المقدار ومتعاكســة في الإشــارة، ويعرف عدد البروتونات بالعدد الذري ويرمز له بالرمــز (Z) بينما يعرف عدد النيوكليونــات (البروتونات + النيوترونات) بالعدد الكتلي، ويرمز له بالرمز (A)، وبذلك يكون لذرة العنصر (X) عدد ذري (Z) وعدد كتلي (A). واختلاف العدد الذري من ذرة إلى أخرى يعطينا عناصــر مختلفة، فمثلا ذرة عنصر الهيدروجين لها عدد ذري يســاوى 1، أي بهــا بروتون واحد فقط في نواتهــا، وكذلك إلكترون واحد في غلافها الإلكتروني، وعدد كتلي يســاوى 1، حيث لا يوجد بنواتها نيوترونات، بينما ذرة الأكســيجين لها عدد ذري يساوى 8 وعدد كتلي يساوى 16، أي يوجد بنواتها عدد 8 بروتونات و8 نيوترونات، وكذلك عدد إلكتروناتها يساوي 8.

ولقد بلغ عدد العناصر المكتشــفة حتــى الآن 92 عنصرا طبيعيا تبدأ بالهيدروجين وتنتهي باليورانيوم، إضافة إلى أكثر من 16 عنصرا أخرى تم إنتاجها بواسطة المعجلات النووية.

طاقة الربط النووي

تحتوي النواة على بروتونات موجبة الشحنة، وهناك قوى تنافر كهربية بين البروتونات بعضها والبعض، وهذه القوى يمكنها تفتيت النواة وتشتيت مكوناتها. غير أنها تجابه بقوى أكبر منها بكثير هي القوى النووية. والقوى النووية هي عبارة عن قوة تربط بين أي اثنين من مكونات النواة (بين نيوترون ونيوترون - بروتون ونيوترون - بروتون وبروتون).

ونظرا إلى أن قوة الربط النووي هذه أكبر بكثير من قوة التنافر الكهربي المتولدة بين البروتونات فإنها تعمل في اتجاه عكسي لها، وتؤدي إلى ربط مكونات النواة معا. ولكن قوى الربط النووي هذه لا تعمل إلا في مسافات صغيرة جدا، وعليه فإن ترتيب النيوكلونات داخل النواة هو عامل مؤثر للغاية في حالة استقرار النواة، بمعنى انه إذا انتظمت النيوكلونات داخل النواة عند مسافات قريبة بعضها من بعض أصبحت قوى الربط النووي أكبر بكثير من قوى التنافر الكهربية، وتصبح النواة في حالة استقرار. أما لو انتظمت النيوكلونات متباعدة بعضها عن بعض، أو زاد عدد النيوترونات كثيرا على عدد البروتونات أو العكس فإن ذلك يؤدي إلى ضعف تأثير القوى النووية داخل النواة، وتصبح النواة في حالة عدم استقرار، وتسمى نواة غير مستقرة أو نواة في حالة إستثارة (Excited State).

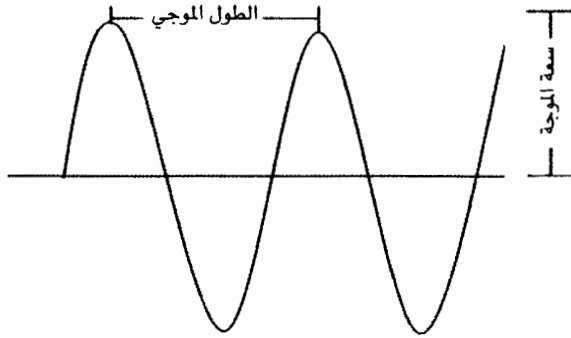
وكعادة أي شيء في الطبيعة فإن الأنوية غير المستقرة تميل لأن تصبح مستقرة. ولكي يحدث هذا الاستقرار لا بد أن يعاد تنظيم النواة من الداخل حيث يتحلل أحد نيوكلوناتها، ويتحول إلى النوع الآخر (نيوترون يتحلل ويصبح بروتونا أو العكس)، أو تنقسم النواة إلى جزأين أحدهما ينطلق بطاقة كبيرة والآخر يبقى في حالة أكثر استقرارا مما كانت عليه النواة من قبل، ويكون نواة لعنصر آخر. وتسمى عملية تحلل مكونات النواة أو انقسامها بالتحلل الإشعاعي التلقائي، وينتج عنها انطلاق جسيمات قد تصاحبها موجات كهرومغناطيسية بطاقة نووية. وهذه الجسيمات والموجات تعرف بالإشعاع النووي (أو الإشعاع الذري) المؤين.

النظائر والنظائر المشعة

تعـــرف النظائر بأنها ذرات عنصر لها نفس العدد الذري Z، بينما تختلف فـــي عدد الكتلة A، ومثال ذلـــك عنصـــر الهيـــدروجين 1 (H - 1) - ونظيريه الديوتيـــريم 2 (D - 2) - والتريتيـــوم 3 (H - 3)، حيث إن الديوتيريم له نفس العـــدد الذري للهيدروجـــين، بينما عدد الكتلة مختلـــف (A = 2) بمعنـــى أن نـــواة ذرة الديوتيريم تحتوي على بروتون ونيوترون. بينما عدد الكتلة A لذرة الهيدروجـــين = 1 حيث تحتوي نواة الهيدروجين علـــى بروتون واحـد فقـــط، وبالتالي فـــإن الديوتيريـــم هـــو نظير للهيدروجين.

وكذلـــك الحـال فـــي التريتيوم والذي له عدد كتلة 3 = A3 وعدد ذري Z = 1 بمعنـــى أن نواة التريتيوم تحتـــوي على بروتون واحد ونيوترونين. ومعنـــى ذلك أن نواة نظير العنصر لهـــا نفس عدد البروتونات الموجودة بنـــواة العنصر، بينما تختلف عنها فقط في عـــدد النيوترونات. وبعض النظائر يكون مشعا، وتسمى النظائر المشعة، بمعنى أن أنوية هذه النظائر تكون غير مستقرة، مما يسبب حدوث انطلاق بعض الإشعاعات المؤينة من هذه الأنويـــة فـــي أثناء تحللها حتى تصبح أنوية مســـتقرة، وبالتالي عناصر مستقرة.

الموجات الكهرومغناطيسية

الموجـــات الكهرومغناطيســـية هي موجات تنتقل أو تنتشـــر في الفراغ بســـرعة الضـــوء، وتتكون مـــن مجالين كهربـــي ومغناطيســـي متعامدين. وتصنـــف هذه الموجات وفقا لترددهـــا وطولها الموجي، حيث تبدأ بموجات الراديـــو والميكروويف ذات التردد الصغيـــر والطول الموجي الكبير، وتنتهي بالأشـــعة السينية وأشعة غاما ذات التردد الكبير والطول الموجي القصير. وتردد الموجة هو معدل تكرارها خلال وحدة الزمن ويقاس بوحدة تســـمى هيرتز. ويتناسب التردد الموجي عكسيا مع طول الموجة وطرديا مع طاقتها. والرســـم التالي يوضح شـــكل الموجات، ويوضح الرســـم الذي يليه الطيف الكهرومغناطيسي بشقيه المؤين وغير المؤين.

رسم توضيحي لسعة وطول الموجات

الموجات الكهرومغناطيسية ذات نطاق طيفي كبير، حيث يبدأ بموجات الراديو ذات الطول الموجي الكبير، ويتدرج حتى يصل إلى الأشعة البنفسجية (ممثلا الإشعاع غير المؤين)، ثم ينتهي بالأشعة السينية فأشعة غاما (والتي تمثل الإشعاع المؤين).

أنواع الإشعاع النووي

الإشعاع النووي - كما سبق أن ذكرنا - قد يكون على هيئة جسيمات أو على هيئة موجات. والجسيمات تنقسم إلى قسمين: جسيمات ذات شحنة كهربية وجسيمات غير مشحونة. والقاسم المشترك لكل أنواع الإشعاع النووي أنها تنطلق من داخل النواة وبطاقة نووية متفاوتة وتتضمن أنواع الإشعاع النووي:

1 - أشعة ألفا (α)

هذه الأشــعة عبارة عن جســيم ذي شــحنة كهربية موجبة. ويتكون مــن 2 بروتون و2 نيوترون، وهو ما يماثل تكوين نواة ذرة الهيليوم. ولذا فإن أي جســيم من جســيمات أشــعــة ألفــا يعتبــر نواة لذرة الهيليوم - 4 (He - 4)، وتنطلق أشــعة ألفا بطاقة نووية في أثناء عملية انقســام أنوية العناصر غير المســتقرة. وجسيم ألفا ذو كتلة عالية نسبيا، إضافة إلى شــحنته الموجبة، مما يضعف قدرته على اختراق المواد، حيث يمكن إيقافه بواســطة ورقة. وهذا يجعل الوقاية من أشــعة ألفا سهلة للغاية في حالة التعرض الخارجي. ولكن إذا تعرض جســم الإنســان لأشــعة ألفا تعرضا داخليا عن طريق الاستنشــاق أو البلع أو الجروح، فســوف يصيبــه ضرر أكبر، نتيجة تعرض خلايا الجســم لقدر عال من التأين. ومن أمثلة مصادر أشــعة ألفا عنصــر اليورانيوم - 238 (U - 238)، حيث تنقسم نواة اليورانيوم 238 - إلى نواتين هما نواة عنصر الثوريوم - 234 (Th - 234)، ونواة عنصر الهيليوم - 4 (He - 4) (جسيم ألفا) وذلك في أثناء تحللها.

٢ - اشعة بيتا السالبة (β^-)

أشــعة بيتا هي عبارة عن إلكترونات تخرج مــن النواة وتنطلق بطاقة نووية، أي إنها جسيمات ذات شحنة كهربية سالبة. وتنتج هذه الأشعة في أثنــاء عملية تحلل أحد نيوترونات نواة العنصر غير المســتقر وتحوله إلى بروتون. وتتميز أشعة بيتا عن ألفا بكونها ذات كتلة صغيرة، مما يزيد من قدرتهــا على اختراق المواد، حيث يلزم اســتخدام رقائق من الألومنيوم أو البلاستيك لإيقافها. ولذا يلزم للإنسان الوقاية داخليا وخارجيا من أشعة بيتا. حيث تســتطيع اختراق جسم الإنســان في أثناء التعرض الخارجي لها. كما أن التعرض الداخلي يحدث ضررا (كما ســبق أن ذكرنا في حالة أشعة ألفا ولكن بكمية أقل). ويعتبر الكربون - 4 (C - 4) مثالا من مصادر أشعة بيتا.

3 - البوزيترونات أو أشعة بيتا الموجبة (β^+)

البوزيترون هو ضديد الإلكترون، وله الخصائص الفيزيائية نفسها التي للإلكترون، مثل الكتلة والطاقة، غير أنه ذو شحنة كهربية موجبة. والبوزيترونات تخرج من النواة وتنطلق بطاقة نووية في أثناء عملية تحلل أحد بروتونات نواة العنصر غير المستقر وتحوله إلى نيوترون. وعندما ينطلق البوزيترون من النواة يصطدم مباشرة مع أحد الإلكترونات التي تدور حول النواة، فيتلاشى كلاهما (البوزيترون والإلكترون)، وينتج عدد إشعاعين من نوع غاما متضادين في الاتجاه. أي تتحول الكتل إلى طاقة وتسمى هذه العملية فيزيائيا بعملية التلاشي (Annihalation Process). ويعتبر الكربون - 11 (C - 11) مثالا لمصادر البوزيترونات.

4 - البروتونات (P)

البروتون هو أحد مكونات النواة (حيث تتكون أنوية أغلبية العناصر من بروتونات ونيوترونات). والبروتون هو جسيم ذو شحنة كهربية موجبة. كما أنه يمثل نواة ذرة الهيدروجين، حيث تتكون من بروتون واحد فقط. وتنتج البروتونات صناعيا بتأيين ذرات الهيدروجين. وعندما يتم تعجيل هذه البروتونات داخل المعجلات النووية (كالسيكلوترونات) ثم تقذف بها أنوية بعض العناصر لإنتاج أنوية عناصر جديدة أو نظائر مشعة.

5 - النيوترونات (n)

النيوترون هو المكون الثاني للنواة. ولا تكاد تخلو نواة منه ماعدا نواة عنصر الهيدروجين. وهو جسيم غير مشحون كهربيا وله نفس كتلة البروتون تقريبا. وينطلق النيوترون بطاقة نووية من النواة غير المستقرة خلال انشطارها. كما تنتج النيوترونات صناعيا بواسطة بعض التفاعلات النووية.

وتستخدم النيوترونات داخل المفاعلات النووية حيث تولد الطاقة الكهربية وتنتج بعض النظائر المشعة. وتكمن خطورة النيوترونات في كونها جسيمات متعادلة كهربيا. حيث تستطيع اختراق أنوية الذرات بسهولة شديدة، وتحويلها إلى أنوية غير مستقرة لعدم وجود قوى تنافر كهربية بينها

وبين الأنوية ذات الشحنة الموجبة. وهذا بدوره يؤدي إلى تحويل الخلايا الحية للجسم البشري إلى مصادر مشعة عند تعرضها لفيض من أشعة النيوترونات. ويعتبر عنصر الكاليفورنيوم - 252 (Cf - 252) هو أحد مصادر النيوترونات. وهذا العنصر أُنتج صناعيا باستخدام المعجلات النووية كمصدر للنيوترونات، حيث لا يوجد مصدر طبيعي لها.

وتستخدم مصادر النيوترونات داخل المفاعلات النووية لإحداث انشطار متسلسل لأنوية اليورانيوم والتي تستخدم كوقود نووي بالمفاعلات. ويستفاد من المفاعلات النووية في توليد الطاقة الكهربية وتحلية مياه البحر وإنتاج النظائر المشعة ذات الاستخدامات السلمية المتعددة في مختلف نواحي الحياة كالطب والزراعة والصناعة والأبحاث العلمية. ويلزم استخدام دروع خاصة للوقاية من هذه الأشعة، ويعتبر شمع البرافين من الدروع الجيدة للنيوترونات. حيث يحتوي على ذرات الهيدروجين والتي تقوم أنويتها بامتصاص النيوترونات متحولة إلى أنوية الديوتيريوم - 2 (D - 2).

6 - **أشعة غاما (γ)**

تنتمي أشعة غاما إلى الطيف الكهرومغناطيسي. وأشعة غاما ذات طول موجي قصير وتردد عال. وتنبعث أشعة غاما من بعض الأنوية غير المستقرة عقب اضمحلالها، إما بالانقسام أو بتحلل أحد مكوناتها. حيث يتبع انطلاق أشعة ألفا أو بيتا في بعض عمليات التحلل الإشعاعي انبعاث لأشعة غاما، حتى تصل الأنوية إلى حالة الاستقرار. وأشعة غاما ذات طاقة نووية عالية وقدرة كبيرة على اختراق المواد والجسم البشري. ويعتبر الكوبلت - 60 (Co - 60) هو أحد مصادر أشعة غاما ويستخدم في علاج بعض الأورام الخبيثة، وتسمى العملية بالعلاج بالأشعة العميقة نظرا لقدرتها العالية على الاختراق. وللوقاية من هذه الأشعة تستخدم دروع مصنوعة من عناصر ذات عدد كتلي عال مثل الرصاص.

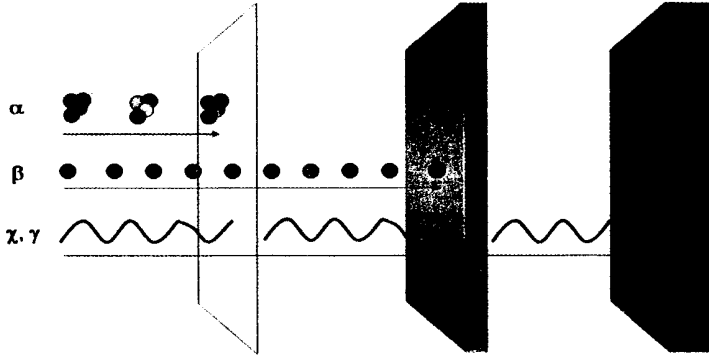
7 - **الأشعة السينية (X - Ray)**

تتفق الأشعة السينية مع أشعة غاما في الطبيعة والخواص، حيث إنها موجات كهرومغناطيسية وتختلف فقط في منشئها وطاقتها. فالأشعة السينية تولد صناعيا بواسطة أنبوب لأشعة الكاثود مصمم خصيصا لهذا

الغـــرض، وتقل طاقتها وترددها قليلا عن أشـــعة غاما. ونظرا إلى قدرتها العالية على الاختراق تستخدم الأشـــعة السينية في العديد من الأغراض الطبية كالتصوير التشـــريحي لأعضاء الجسم البشري إضافة إلى العديد من عمليات التصوير الإشـــعاعي في قطاعـــات الصناعة وغيرها. وتعتبر مادة الرصاص مناسبة لتصنيع دروع واقية من الأشعة السينية.

8 - الأشعة الكونية (**Cosmic Rays**)

تصدر هذه الأشعة من الشمس والمجرات المحيطة بكوكب الأرض. وهي عبارة عن جسيمات نووية كالبروتونات والنيوترونات وجسيمات ألفا وبيتا وجســيمات أخرى علاوة على موجات كهرومغناطيسية أغلبها غير مؤينة. ولقـــد حبا الله ســـبحانه وتعالى كوكب الأرض بطبقـــة من الغلاف الجوي تعمل كدرع طبيعي للوقاية من هذه الأشعة.

ومما ســـبق يتضح وجود ٨ أنواع من الأشـــعة النووية وتعتبر أشعة ألفا (α) أقلها قدرة على الاختراق بحيث تكفي ورقة رقيقة لوقفها، بينما تعتبر أشـــعة غاما (γ) والأشعة السينية (X - Ray) الأكثر قدرة على الاختراق، حيث يلزم طبقة ســـميكة من الرصاص أو ما يعادلها من الأسمنت لوقفها، كما هو موضح بالشكل التالي.

درع من الرصاص　　شريحة من الألومنيوم　　ورقة

رسم يوضح قدرة أنواع الجسيمات والموجات المشعة الرئيسية على الاختراق

* * *

3

مصادر الإشعاع المؤين

«إن التجــارب النووية تحت الأرض قــد تم الاســتمرار بها رغبة فــي حماية البيئة مــن التلــوث غيــر أن هذه التجــارب أضافت زيادة من الغبــار الذري المحمل بالمواد المشعة للبيئة»

المؤلفان

بصفــة عامــة، يوجــد نوعــان من الإشــعاع: المؤين وغير المؤين. الإشــعاع المؤين هو الذي يحدث تغييرات في تركيب الأنسجة التي تتعرض له، ويتضمن على سبيل المثال الأشعة السينية والإشعاعات النوويــة. أما الإشــعاع غيــر المؤين فلا يحدث تغييرات في التركيب النســيجي للمادة المتعرضة له.

وأمثلة من الأشــعة غيــر المؤينة هي إشــعاعات الراديو والميكروويف والضوء والأشــعة تحت الحمراء والأشــعة فوق البنفســجية والليــزر، وعلــى عكــس الأشــعة المؤينة فــإن الإشــعاعات غير المؤينة لا تتميز بوجود طاقة تكفي لإزالة إلكترونــات من الذرة، وعلــى الرغم من هذا فــإن لها تأثيرات ضــارة في بعض

الأحيان مثل أشعة الليزر القوية التي قد تسبب إحداث حروق للجلد وقد تؤثر في بعض الأجهزة مثل بطاريات القلب التي تنظم ضرباته (Pace makers)، وكذلك أشعة الميكروويف فقد تسبب سخونة الجلد وما يترتب على هذا الوضع صحيًا.

والأشعة فوق البنفسجية لها فائدة في تكوين فيتامين د في جسم الإنسان، ولكن زيادة التعرض لهذا الإشعاع لها أضرارها الحادة والمتأخرة على الجلد والعين والجهاز المناعي. والمصدر الرئيسي للأشعة فوق البنفسجية هي الشمس علاوة على مصادر صناعية أخرى، والشمس تصدر ضوءا وحرارة والأشعة فوق البنفسجية، وعندما تصدر تلك الإشعاعات يتم امتصاص 90% منها بواسطة الأوزون وذرات المياه والأكسيجين وثاني أكسيد الكربون في الجو. وطبقة الأوزون مهمة جدا لتقليل وصول تلك الأشعة الضارة إلى الأرض، وهذا هو السبب في الأهمية التي تعطى لمعالجة وإيقاف نقص تلك الطبقة التي حدثت في السنوات الأخيرة.

هناك مصدران رئيسيان للإشعاع المؤين وهما الإشعاع الطبيعي والإشعاع المصنع الذي يتدخل الإنسان في إنتاجه واستخدامه.

1 - الإشعاع الطبيعي

يشكل الإشعاع الطبيعي النسبة الأكبر في الجرعة المجمعة لسكان العالم. ويوجد هذا الإشعاع الطبيعي منذ بدء الخليقة، ومن خلاله تمكن علماء الجيولوجيا بالتعاون مع علماء الإشعاع الذري من وضع تصور تقريبي لعملية بدء الخلق وتقدير عمر الكرة الأرضية. وتنقسم مصادر الإشعاع الطبيعي إلى ثلاثة مصادر وهي الأشعة الكونية وإشعاعات صادرة من القشرة الأرضية وإشعاعات صادرة من جسم الإنسان نفسه، ويقدر متوسط إجمالي الجرعة السنوية الفعالة التي يتعرض لها الفرد من الإشعاع الطبيعي في حدود 2.4 ميللي سيفرت (*).

(*) سيفرت أو زيفرت (SV) Sievert: نسبة إلى عالم الفيزياء والطبيب السويدي رولف زيفرت (Rolf Sievert). وهي وحدة قياس جرعة الإشعاع المتكافئة التي كانت تقاس حتى عام 1985 بوحدة الريم (rem). والسيفرت الواحد يعادل مائة ريم (1 sv = 100 rem) [المحررة].

(1 - 1) الأشعة الكونية

تنبعث الأشعة الكونية من التفاعلات النووية التي تحدث داخل النجوم في المجرات الفلكية المحيطة بنا، وكذلك الشمس في مجموعتنا الشمسية وتسمى هذه الأشعة بالأشعة الكونية الأولية، وتتكون من بروتونات بنسبة 85 % وجسيمات ألفا بنسبة 14% وأنوية ذرات ذات عدد ذري يبدأ من 4 إلى 26، وذلك بنسبة 1 %. وهذه الأشعة ذات طاقة اختراق عالية وتصطدم بالغلاف الجوي للكرة الأرضية الذي يعتبر درعا وقائيا طبيعيا خلقها الله سبحانه وتعالى ليحصن الأحياء على كوكب الأرض من هذه الأشعة، ويؤدي هذا التصادم إلى امتصاص نسبة كبيرة من الأشعة الكونية الأولية بينما تنفذ نسبة ضئيلة جدا وهي نحو 0.05% من الأشعة الساقطة وتصل إلى سطح البحر، وذلك بالإضافة إلى تكون أشعة أخرى نتيجة لهذا التصادم تسمى بالأشعة الكونية الثانوية وتتكون من عدة نظائر مشعة وهي الهيدروجين - 3 (H-3) والبريليوم - 7 (Be - 7) والكربون - 14 (C - 14) والصوديوم -22 (Na - 22).

يختلف مقدار التعرض الإشعاعي للإنسان والكائنات الحية لهذه الأشعة باختلاف مكانهم على سطح الأرض، حيث تزيد نسبتها عند القطبين نتيجة لزيادة المجال المغناطيسي في هذين القطبين، مما يعمل على جذب الجسيمات بنسبة كبيرة تزيد على باقي الأماكن، كما يزيد أيضا مقدار التعرض كلما ارتفعنا عن سطح البحر حيث يقل سمك الغلاف الجوي الذي يعمل على امتصاص هذه الأشعة. وتقدر الجرعة السنوية الفعالة نتيجة للتعرض للأشعة الكونية على ارتفاع مستوى سطح البحر مباشرة في حدود 0.27 ميكرو سيفرت وفي حدود 1.07 ميكرو سيفرت على ارتفاع 10 آلاف قدم عن سطح البحر، وعلى ذلك يكون الطيارون والرحل كثيرو السفر بالطائرات هم الأكثر تعرضا لهذه الأشعة، ويقدر متوسط الجرعة الفعالة السنوية للفرد من الأشعة الكونية بنحو 0.39 ميللي سيفرت في العام أي نحو 16٪ من إجمالي الجرعة المجمعة من الإشعاع الطبيعي سنويا.

(1 - 2) القشرة الأرضية

تحتـوي القشــرة الأرضيـة على عدد كبير من النظائر المشـعة أهمهـا البوتاسـيـوم - 40 (K - 40) والإنديـوم - 115 (In - 115) والروبيديـوم - 87 (Rb - 87) إضافة إلى السلاسـل الإشـعاعية الثلاث وهـي اليورانيـوم - 238 (U - 238) واليورانيـوم - 235 (U - 235) والثوريـوم – 232 (Th - 232)، وتتميـز معظـم هـذه النظائـر بأن فتـرة نصـف العمر لها طويلـة جـدا فالبوتاسـيوم – 40 (K - 40)، ويـؤدي وجـود هـذه النظائـر المشـعة إلـى انبعـاث أنـواع مختلفة مـن الإشـعاعات المؤينـة مثـل أشـعة غاما وجسـيمات ألفـا وبيتا.

ويسـبب وجود هذه النظائر حدوث تعرض إشـعاعي داخلي وخارجي للكائنات الحية التي تعيش على سطح الأرض بما فيها البشر بالطبع، فعلى سبيل المثال فإن البوتاسيوم – 40 (K - 40)، ينتقل من التربة الزراعية إلى النباتات ثم منها إلى الإنسـان مباشرة أو إلى الحيوان ثم منه إلى الإنسان مـن خلال تناوله الغذاء سـواء كان غذاء نباتيـا أو حيوانيا، وكذلك يؤدي اسـتخدام المخصبات والأسـمدة الزراعية التي تسـتخدم لزيادة خصوبة التربة ورفع إنتاجيتها إلى زيادة نسـبة المواد المشعة داخل التربة الزراعية (ومن ثم داخل النبات والذي يتغذى عليه الإنسـان والحيوان) حيث تصنع هذه المخصبات من مادة الفوسـفات التي تحتوي بدورها على نسـبة من اليورانيوم - 238 (U - 238).

وتسـبب أشـعة غاما الأرضية تعرضا خارجيا للإنسان بجرعة تقدر في حدود 0.48 ميللي سـيفرت في العام، بينما يؤدي التعرض الداخلي للأشـعة الناتجة من القشرة الأرضية الذي يدخل إلى جسم الإنسان من خلال تناوله الغذاء والشـراب إلى جرعة في حدود 0.29 ميللي سيفرت في العام.

وهنـا لا بـد من الحديث عن غاز الرادون المشـع الذي ينتج مباشـرة مـن اضمحلال عنصر الراديوم المشـع من القشـرة الأرضيـة، وللرادون ثلاثة نظائر مشـعة هي رادون – 222 (Rn - 222)، ينتج مـن اضمحـلال

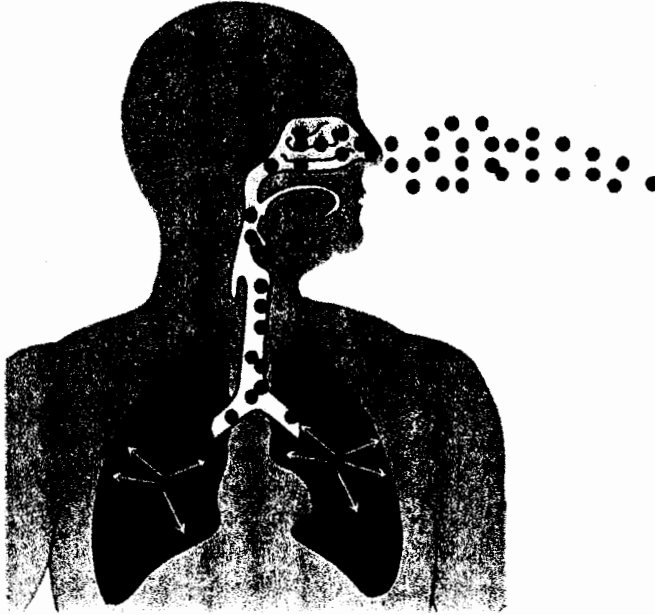
الراديــوم - 226 (Ra - 226) ورادون - 222 (Rn - 222) ويســمى أيضــا ثــورون - 220 ينتج مــن اضمحــلال الراديــوم -224 (Ra - 224) ورادون - 219 (Rn - 219) ويسمى أيضا أكتينيوم - 219 (Ac - 219) ينتج من اضمحلال الراديوم -223 (Ra - 223).

وغــاز الرادون - 222 (Rn - 222) هو الأكثــر وجــودا فــي الطبيعة مــن النظيرين الآخريــن وهــو غــاز خامـل كيميائيـا وليـس لــه لــون ولا رائحة، وكثافته أعلـى مـن كثافــة الهــواء بكثيــر. كمــا أنــه غـاز مشــع حيث ينتج عن اضمحلاله نظائر مشــعة تسمى بوليدات الرادون وهــي البولونيــوم -218 (Po - 218) والرصــاص -218 (Pb - 218) والبيزموث -218 (Bi - 218) إلى جانب انطلاق جســيمات ألفا منه كما أن وليدات الرادون هذه مشعة هي الأخرى.

يدخل غاز الرادون جســم الإنســان من خلال الهواء الذي يتنفسه والمــاء الذي يشــربه، فغــاز الرادون ينطلـق مــن التربة ومواد البناء التــي تدخـل فــي مكوناتها مــواد خام تحتوي على نســب معينة من عناصــر اليورانيــوم -238 (U - 238) واليورانيــوم -235 (U - 235) والثوريوم -232(Th - 232).

ويؤدي انطلاق الرادون المشــع إلــى امتزاجه بالهواء والماء المحيطين به كالهــواء الطلق فــي الأماكن المفتوحة أو داخل المنــازل والأماكن المغلقة أو داخــل المناجم والمحاجر، خصوصا مناجم اليورانيــوم أو داخل البحيرات والأنهار وآبار المياه الجوفية، وتتزايد نســب تركيزه كلما كان موقع انتشاره مغلقا كالمنازل والأماكن المحكمة الغلق التي تعتمد كلية على التهوية المركزية، وكذلك الآبار الجوفية، بينما تقل النســبة في الأماكن المفتوحة كالشواطئ والحدائق والنوادي الرياضية والأنهار والبحار.

وتوضــح الصــورة أدناه عملية استنشــاق غاز الــرادون (في أثناء الشــهيق) ووصول جزيئاتــه إلى داخل الرئتين، حيث تســتقر جزيئاته داخــل الحويصــلات الهوائية وتبــدأ في الاضمحــلال فتنتج وليدات الرادون المشــعة وفي أثناء عملية الاضمحلال هذه تنطلق أشــعة ألفا وبيتا وغاما التي تمتص بداخل الرئتين، مما يزيد من احتمال الإصابة

بمرض السرطان الرئوي وفقا لكمية الرادون الممتصة، واكتشف هذا الغاز في أوائل القرن العشرين وثبت وجوده بنسبة عالية في بعض المناطق في أوروبا، ولقد أثبتت الدراسات الوبائية الطبية أنه يأتي في المرتبة الثانية من مسببات سرطان الرئة بعد التدخين مباشرة في حالة وجوده بتركيز عال، مما حدا المنظمات الدولية العاملة في مجال الوقاية من الإشعاع على التوصية بضرورة قياس نسب تركيزه داخل كل دولة على حدة، وتحديد الأماكن التي يوجد فيها بنسبة عالية تحديدا دقيقا، والعمل على وضع الحلول العلمية الممكنة لتقليل هذه النسب وجعلها في الحدود الآمنة. ولقد حددت وكالة حماية البيئة الأمريكية 148 بيكريل / المتر المكعب أو 4 بيكو كوري لكل لتر كحد أقصي للتعرض الآمن لغاز الرادون -222 (Rn - 222).

تمثل الأسهم جسيمات ألفا التي تنطلق داخل الرئتين
وتمتص طاقتها بواسطة الأنسجة الحية، ما يسبب تدمير هذه الأنسجة
مع احتمال إصابتها بمرض السرطان.

ويشـــبه العلماء غاز الرادون بالقاتل الصامت في بيوتنا، فهو بالإضافة إلـى الأبخرة الناتجة من المطابخ والبخور ودخان الســجائر وغاز الفريون النـــاتج من أجهزة التكييف، تمثل بمجموعها تلوثا هوائيا داخليا، قد يكون أخطر على صحة الإنسان من التلوث الهوائي الخارجي.

ولتقليل نسبة الضرر الناتج من استنشاق غاز الرادون يجب عمل مخطط لكل مبنى ســكني على حدة يشتمل على نسبة غاز الرادون المقيس في داخله، وهـــو ما يعرف بخريطة الــرادون (Radon Map)، وتعتبــر الولايات المتحدة الأمريكية من الدول الناشــطة على مســتوى العالم في تنفيذ هذه الخريطة، حيث توجد خريطة للرادون لكل ولاية (*). وعند شراء أي منزل يتسلم الساكن شـــهادة توضح نســبة غاز الرادون داخل المنزل مقابل مبلــغ من المال يدفعه الســاكن نظير حصوله على هذه الشهادة. ولتخفيض نسبة تركيز الغاز داخل المنـــازل توضع مواد عازلة على الأرضيات والجدران لمنع نفاذ الغاز من التربة والحوائــط إلى داخل المنــزل. كما يلزم تهوية المنزل بصـــورة جيدة لتخفيض نسبة الغاز. إضافة إلى وضع مواسير تهوية تعمل على سحب الغاز من داخل المنزل إلى خارجه بصفة دائمة في حال ارتفاع نسبة الغاز عن المعدل المطلوب.

ويساهم غاز الرادون -222 (Rn - 222) بجزء كبير في الجرعة السنوية الفعالة من التعرض للإشـــعاع الطبيعي للفرد التي يقدر متوسطها بنحو 2.4 ميللي ســيفرت، منها 61.2 ميللي ســيفرت لغاز الرادون - 222 (Rn - 222) وحـــده، أي تقريبا 52% من إجمالي الجرعة الفعالة الســنويــة من التعرض للإشعاع الطبيعي.

(1 - 3) جسم الإنسان

نتيجـــة لوجـــود الأشـــعة الكونيـــة الأوليـــة والثانوية والأشـــعة الأرضيـــة التـــي تتكون من غـــاز الرادون وأشـــعة غاما فـــي البيئة المحيطـــة بالإنســـان فإنه يتعرض لجرعـــات إشـــعاعية داخلية من

(*) للاطلاع على خريطة الرادون في الولايات المتحدة الأمريكية، انظر:
http: www. epa. gov/radon/images/zonemap

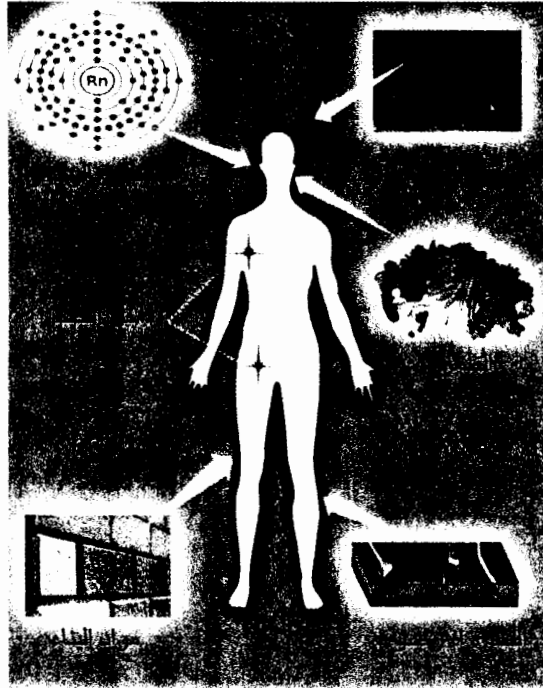
خلال التنفس وتناول الطعام والشراب. ويسبب ذلك وجود بعض العناصر المشعة بنسب معينة داخل جسم الإنسان. ولقد تم تحديد 6 عناصر مشعة رئيسية توجد بصفة دائمة داخل جسم الإنسان وهي البوتاسيوم - 40 (K - 40) والروبيديوم - 87 (Rb - 87) والكربون - 14 (C - 14) والهيدروجين - 3 (H - 3) والراديوم - 226 (Ra - 226) والثوريوم - 232 (Th - 232)، ويقدر متوسط ما يحويه جسم إنسان يزن 70 كيلوغراما على تركيز إشعاعي في حدود 12 ميللي كوري لعنصر البوتاسيوم و0.009 ميكرو كوري لعنصري الروبيديوم والكربون و0.001 ميكرو كوري لعنصر الهيدروجين و0.0001 ميكرو كوري لعنصري الراديوم والثوريوم.

ويؤدي وجود هذه النظائر المشعة داخل جسم الإنسان إلى حدوث تعرض إشعاعي قليل نسبيا. وتقدر الجرعة السنوية الفعالة في حدود 180 ميكرو سيفرت كنتيجة لوجود البوتاسيوم -40 (K - 40) و6 ميكرو سيفرت للروبيديوم (Rb – 87)، بينما يصعب تقدير الجرعة الناتجة من العناصر الأخرى، مع العلم أن نسب وجودها تقل بكثير جدا عن البوتاسيوم والروبيديوم.

ويوضح الجدول والشكل البياني التاليان أنواع التعرض الإشعاعي الطبيعي ومقدار الجرعة السنوية الفعالة الناتجة من هذا التعرض.

التعرض الإشعاعي من المصادر الطبيعية

	نوع التعرض الإشعاعي	الجرعة السنوية الفعالة (ميللي سيفرت)
1	**أشعة كونية**	**0.39**
	أولية	0.38
	ثانوية	0.01
2	**أشعة ناتجة من القشرة الأرضية**	**1.74**
	غاز الرادون	1.26
	أشعة جاما	0.48
3	**جسم الإنسان**	**0.186**
	الاجمالي	**2.316**

مصادر التعرض الإشـعاعي الطبيعي الثلاثة وهي جسـم الإنسـان والأشعة الكونية، وأخيرا الأشـعة الناتجة من القشـرة الأرضية (أشـعة غاما الأرضية وغاز الـرادون، تم فصلهمـا لتوضيح مـدى أهمية غاز الـرادون حيث يمثل وحده أكثر من نصف مقدار التعرض كما يتضح من الشـكل البياني السابق).

رسم يبين مصادر تعرض الإنسان للإشعاع الطبيعي

2 - الإشعاع الصناعي

الإشـــعاع الصناعي هو ما يعرف بإشـــعاع من صنع البشر (Manmade). حيـث ينتج العديد من النظائر المشـعة داخل المفاعـلات النووية، وذلك لكي تستخدم في المجال الطبي في إجراء الفحوص التشخيصية والعلاج الإشعاعي وفي مجالات أخرى متعددة كالصناعـة والأبحـاث العلميـة [مثل التكنيزيوم 99م (Tc – 99m)، السـيزيـوم 137 (Cs - 137)، اليـود 125 (I - 125)، واليـود 131- (I - 131)]، بالإضـافة إلى إنتـاج عنصـر البلوتونيـوم الذي يستخدم في صنع القنابل النووية.

ويشـكل الإشعاع الصناعي النسـبة الأصغر في الجرعة الفعالة المجمعة لسـكان العالم، حيث يقدر متوسـط إجمالي الجرعة السـنوية الفعالة التي يتعرض لها الفرد من الإشعاع الصناعي في حدود 0.42 ميللي سيفرت.

وتنقسم مصادر الإشعاع الصناعي إلى خمسة مصادر وهي الاستخدامات الطبية ومفاعلات القوى النووية لتوليد الكهرباء والاسـتخدامات العسـكرية والحوادث الإشـعاعية وأخيـرا مصادر صناعية أخرى ومنها شاشـة التلفاز الملون وأجهزة الإنذار ضد الحرائق وخلافه.

(2 - 1) الاستخدامات الطبية

يستخدم الإشعاع المؤين في إجراء أنواع عديدة من الفحوص الطبية علاوة على استخدامات الإشعاع في العلاج، مما يترتب عليه حدوث تعرض إشعاعي سـواء للمرضى الذين تجـرى لهم هذه الفحوص أو للعاملـين القائمين على إجرائها. ويختلف مقدار التعرض من دولة إلى أخرى وفق دقة نظام السلامة الإشعاعية المتبع، وكذلك تطور الأجهزة المستخدمة في إجراء هذه الفحوص.

فعلى سـبيل المثال أجهزة الأشعة السينية الحديثة تجري الفحوص بدقة عالية جدا ويتعرض المريض لجرعة إشعاعية تقل كثيرا عما كانت عليه سابقا، وكذلك العاملون يتعرضون لجرعة تكاد تقترب من الصفر. حيث يوجد تدريع دقيق shielding للجهاز يحتجز الأشـعة تمامـا إلى جانب وجود نظام تحكم آلي من بعد لتشـغيل الجهاز ما يجعل احتمالات التعرض الإشعاعي للعاملين تكاد تكون منعدمة.

ولكن هــذه الأجهزة الحديثة قد لا تتوافر في الــدول ذات الإمكانيات المحــدودة لارتفــاع ســعرها، وبالتالي فــإن معدلات التعرض الإشــعاعي للمرضى والعاملين داخل هذه الدول سوف يكون أكثر نسبيا عنه في الدول المتقدمة في مجال الفحوص الطبية باستخدام الأشعة. وبصفة عامة يقدر متوسط إجمالي الجرعة السنوية الفعالة التي يتعرض لها الفرد في حدود 0.4 ميللي ســيفرت نتيجة إجراء الفحوص الطبية بالمواد المشعة إلى جانب الفحوص التشــخيصية باســتخدام الأشعة الســينية، وذلك وفقا لإحصاء اللجنة العلمية لتأثير الإشعاع الذري التابعة للأمم المتحدة (UNSCEAR).

(2 - 2) المفاعلات النووية

تستخدم المفاعلات النووية لإنتاج الطاقة الكهربائية على نطاق واسع في عالمنا المعاصر وهي بالفعل أحد مصادر التعرض الإشعاعي، وذلك للعاملين في داخلها وللســكان القريبين منها، بل ولأجزاء كبيرة للعالم كله في حال وقوع حوادث إشــعاعية بها. والتعرض الإشعاعي في هذه الصناعة يخص بالدرجــة الأولى العاملين بها بدءا من عمال مناجــم اليورانيوم والعاملين بمصانع إنتاج الوقود النووي والقائمين بتشغيل المفاعلات النووية، وكذلك المتخصصون في مجال التخلص من النفايات النووية وتخزينها.

ونظــرا إلى ما ســبق فقــد وُضعت قوانــين وتعليمات مشــددة لإجراءات الســلامة الإشــعاعية لهــذه الصناعة لضمــان تخفيض التعرض الإشــعاعي للعاملين للحدود المســموح بها دوليا وللحد من وقوع حوادث إشــعاعية وتلوث بيئي في هــذا المجال، بالإضافة إلى تخفيض حدود التعرض الإشعاعي للسكان المجاورين لهذه المفاعلات إلى أقصى درجة ممكنة.

وفي شــهر ديســمبر العام 2006 بلغ عدد المفاعلات النووية التي تعمل في العالــم كلــه 443 مفاعلا موزعة علــى 30 دولة وتنتج طاقة كهربائية تســاوي 369.552 غيغاوات، وذلك وفقا لإحصاء الوكالة العالمية للطاقة الذرية (IAEA).

(*) 0.64 ميللي سيفرت: Justification. The IAEA Initiativ
PDF. 2100/http: //www.fans.fgov.be/GED/00000000

وهذه المفاعلات يطلق عليها اسم مفاعلات القوى النووية، وتتميز بطاقتها العالية خلافا للمفاعلات النووية الصغيرة التي تستخدم فقط في الأبحاث النووية وإنتاج النظائر المشعة، وعدد هذه المفاعلات الصغيرة يبلغ 292 مفاعلا نوويا بحثيا وذلك وفقا لإحصاء اللجنة العلمية لتأثير الإشعاع الذري (UNSCEAR). غير أنه لم يُجْرَ إحصاء عالمي دقيق حتى الآن لنواتج هذه المفاعلات من المواد المشعة ومدى تأثيرها في البيئة.

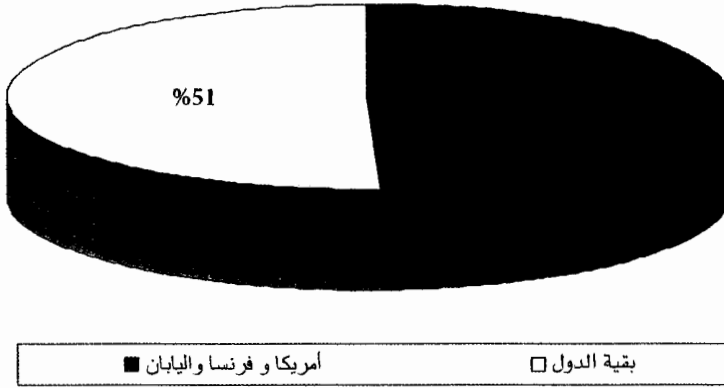
ويوضح الشكل البياني التالي توزيع مفاعلات القوى النووية في الدول الإحدى عشرة التي تملك عددا كبيرا من المفاعلات بينما يشتمل الجدول على الدول التسع عشرة الباقية التي تمتلك أعدادا أقل. كما يوضح الشكل البياني اللاحق نسبة عدد مفاعلات القوى في الدول الثلاث أمريكا وفرنسا واليابان مقارنة بباقي الدول التي تملك مفاعلات القوى النووية.

تحتل الولايات المتحدة الأمريكية المرتبة الأولى على مستوى العالم في عدد مفاعلات القوى النووية، حيث تمتلك 104 مفاعلات، في حين تحتل كوريا الشمالية المرتبة السادسة لامتلاكها 20 مفاعلا، وتأتي السويد في المرتبة الحادية عشرة لامتلاكها 10 مفاعلات.

الدول الأقل امتلاكا لمفاعلات القوى النووية

الترتيب	اسم الدولة	عدد المفاعلات	الترتيب	اسم الدولة	عدد المفاعلات
1	أمريكا	104	16	سلوفاكيا	6
2	فرنسا	59	17	سويسرا	5
3	اليابان	56	18	بلغاريا	4
4	روسيا	31	19	فنلندا	4
5	إنجلترا	23	20	المجر	4
6	كوريا الشمالية	20	21	الأرجنتين	2
7	كندا	18	22	البرازيل	2
8	ألمانيا	17	23	باكستان	2
9	الهند	15	24	جنوب أفريقيا	2
10	أوكرانيا	15	25	المكسيك	2
11	السويد	10	26	أرمينيا	1
12	إسبانيا	9	27	ليتوانيا	1
13	الصين	9	28	رومانيا	1
14	بلجيكا	7	29	سلوفينيا	1
15	جمهورية تشيكيا	6	30	هولندا	1

ومن الشكل التالي يتضح أن الدول الثلاث أمريكا وفرنسا واليابان تملك عددا من مفاعلات القوى النووية يعادل تقريبا مثل ما تملك بقية الدول الثلاثين. كما يتضح من الإحصاء السابق عدم وجود مفاعلات قوى نووية في أي من الدول العربية، في حين تمتلك دولة أفريقية واحدة مفاعلين قوى نووية (دولة جنوب أفريقيا).

ويقدر متوسط إجمالي الجرعة السنوية الفعالة التي يتعرض لها الفرد في حدود 0.2 ميكرو سيفرت نتيجة لوجود المفاعلات النووية، وهو ما يعادل 0.0008 من متوسط إجمالي الجرعة السنوية الفعالة الناتجة عن التعرض للإشعاع الطبيعي التي تبلغ 2.4 ميللي سيفرت.

نسبة عدد مفاعلات القوى النووية

(2 - 3) **الاستخدامات العسكرية**

بدأت فكرة إنتاج سلاح نووي في الثلاثينيات من القرن الماضي بعد اكتشاف ظاهرة الانشطار النووي، ولقد حاول هتلر أن ينتج هذا السلاح الخطير حتى يتمكن من السيطرة على العالم كله غير أن بعض العاملين في هذا المشروع الخطير نجحوا في الفرار إلى الولايات المتحدة الأمريكية. وبدأت تجارب جادة في هذا المجال حتى تحقق الحلم في الأربعينيات على يد العالم روبرت أوبنهيمر (Robert Oppenheimer) ورفاقه في إجراء تجارب تفجير نووية ناجحة في العام 1945 بالولايات المتحدة الأمريكية من خلال المشروع العلمي الشهير أطلق عليه اسم مانهاتن، مما أحدث سبقا أمريكيا في مجال إنتاج هذه الأسلحة النووية ووجود مفهوم عسكري جديد سُمي بالردع النووي. وبالفعل طبقت الولايات المتحدة الأمريكية هذا المفهوم الجديد في العام 1945 ضد اليابان من أجل الإسراع بإنهاء الحرب العالمية الثانية لمصلحتها، حيث قامت بإسقاط قنبلة ذرية على كل من مدينتي هيروشيما وناغازاكي اليابانيتين مما أرغم اليابان على الاستسلام الفوري.

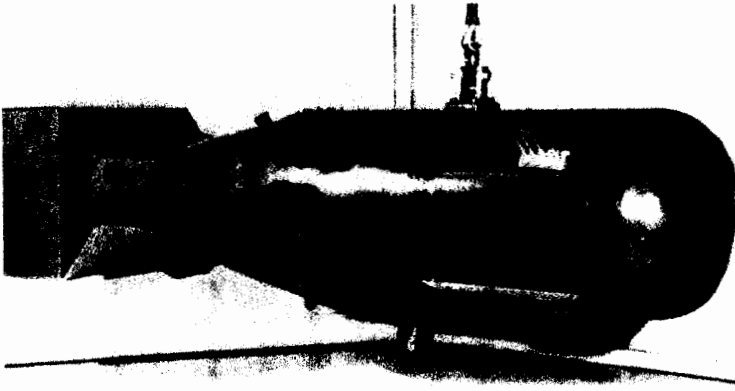
ألقيت القنبلة الأولى على هيروشيما في 6 أغسطس من العام 1945، ولقد وصف الوضع أحد الناجين بقوله: «فجأة ظهر بالسماء ضياء شديد تبعته موجة من الحرارة الخانقة ورياح عاصفة تجتاح كل ما تجده أمامها، احترق آلاف الناس الذين كانوا يسيرون في الشوارع أو يجلسون في الحدائق وكل ما كان موجودا من مبان ومصانع سحق سحقا وأبيد إبادة تامة، انهار كل شيء في دائرة قطرها 10 كيلو مترات»، أما الذين كتبت لهم النجاة فظهرت عليهم أعراض غريبة مثل القيء والإسهال ثم ما لبثوا أن ماتوا من شدة الألم».

وبعد ثلاثة أيام ألقيت القنبلة الثانية على ناغازاكي، وهي تبعد نحو 300 كيلومتر عن هيروشيما. وقد قدَر عدد الضحايا عن الهجمتين بـ 210 آلاف شخص منهم 140 ألفا توفوا على الفور، بالإضافة إلى 600 ألف شخص ما بين مفقود وجريح.. ولقد توالت تجارب الأسلحة النووية على نطاق واسع حتى العام 1963 عندما اتفقت الدول القوية الثلاث آنذاك (الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفييتي والمملكة المتحدة البريطانية) على منع التجارب النووية فوق سطح الأرض.

وعلى الرغم من التشريعات الدولية التي ظهرت بعد ذلك وحرمت استخدام المواد المشعة في الحروب والمواجهات العسكرية، فإنه يعتقد أنها مازالت تستخدم أحيانا في التجارب التي أُجريت في فرنسا والصين بعد الاتفاق بالمنع، كما يعتقد أن أسلحة تقليدية احتوت على اليورانيوم المنضب (وهو مادة مشعة تتبقى من عملية تخصيب اليورانيوم الذي يستخدم كوقود نووي) قد استخدمت في حرب تحرير الكويت من الغزو العراقي سنة 1991، وفي الحروب التي شنتها إسرائيل على قطاع غزة في دولة فلسطين وآخرها في العام 2008. جدير بالذكر أن التجارب النووية تحت الأرض قد تم الاستمرار بها رغبة في حماية البيئة من التلوث، غير أن هذه التجارب أضافت زيادة من الغبار الذري المحمل بالمواد المشعة للبيئة.

وتوضح الصـــورة أدناه عملية الانفجار النووي التي يصحبها انطلاق غبار كثيف إلى الســماء محمــل بجزيئات النظائر المشــعة الناتجة من الانشــطار النووي، ولذلك يسمى بالغبار الذري. ويكون هذا الغبار على هيئة مظلة كبيرة شديدة التوهج كنتيجة للحرارة العالية المتولدة في أثناء هذا الانشطار النووي.

وتنتشــر جزيئات الغبار الذري في الأفق فتمتزج بجزيئات الســحاب الــذي ينتقل بدوره مــن مكان حــدوث التفجير النووي إلــى مكان آخر فيســقط مطر يحتوي على جزيئات الغبار الذري فيحدث تلوث إشعاعي في المنطقة.

أولى تجارب التفجير النووي في صحراء ولاية نيو مكسيكو بالولايات المتحدة

شكل القنبلة الذرية التي ألقيت
على مدينة ناغازاكي اليابانية

الانفجار النووي الناتج من إلقاء القنبلة الذرية الثانية
على مدينة ناغازاكي اليابانية

صور تظهر آثار الدمار الناتج من التفجير النووي

ولقد تمكن الاتحاد السوفييتي من الدخول في هذا المجال أيضا ومن بعده إنجلترا وفرنسا والصين وتلتها دول أخرى فيما بعد وآخرها الهند وباكستان ثم كوريا الشمالية.

ولقد شهدت الفترة من أوائل الخمسينيات وحتى مطلع الثمانينيات تقريبا سباقا رهيبا بين هذه الدول في إجراء تفجيرات نووية فوق وتحت سطح الأرض من أجل اختبار وتطوير ترساناتها النووية.

وينتج عن هذه التفجيرات النووية نظائر مشعة أهمها السيزيوم – 137 (Cs - 137) واليود -131 (I - 131) والسترنشيوم -90 (Sr - 90) والكربون -14 (C - 14) حيث تمتزج هذه النظائر المشعة مع الأتربة الناتجة عن تدمير القشرة الأرضية لموقع التفجير مكونة الغبار الذري، والذي ينطلق إلى الفضاء الخارجي بسرعة كبيرة بفعل الحرارة الرهيبة الناجمة عن الانفجار النووي والتي تقدر بحوالي مليون درجة مئوية، ثم يتجمع الغبار الذري في طبقات الجو العليا وتحمله الرياح ليسقط على مكان آخر فوق سطح الكرة الأرضية، وهو ما نسميه بالسقط النووي.

ولقد بلغ إجمالي عدد التفجيرات النووية التي أجرتها الدول النووية الثمانية السابق ذكرها نحو 2419 تفجيرا، وذلك منذ العام 1945 حتى العام 1999، وذلك وفقا لإحصاء اللجنة العلمية لتأثير الإشعاع الذري (UNSCEAR) التابعة للأمم المتحدة.

ويقدر متوسط إجمالي الجرعة السنوية الفعالة التي يتعرض لها الفرد في حدود 5 ميكرو سيفرت، نتيجة التعرض للسقط النووي (الغبار الذري) الناتج عن التفجيرات النووية.

وتمثل الصورة التالية أحد التفجيرات النووية التي أجرتها فرنسا ضمن سلسلة من تجاربها النووية خلال الفترة من العام 1968 إلى العام 1970.

إحدى التجارب النووية التي أجرتها فرنسا خلال الفترة
من العام 1968 إلى العام 1970

(2 - 4) الحوادث الإشعاعية وأشهرها مفاعل تشيرنوبل

يطلق تعبير حادثة إشعاعية عندما يحدث تسرب إشعاعي ما في البيئة المحيطة بمكان استخدام المواد المشعة. وقد يكون هذا التلوث محدودا ويمكن إزالته سريعا والحيلولة دون حدوث أي ضرر للمتعرضين، كما هي الحال في حوادث مختبرات الطب النووي والأشعة السينية.

وقد يكون التلوث كبيرا وعلى نطاق واسع، كحوادث مفاعلات القوي النووية. والتلوث الإشعاعي لحوادث المفاعلات النووية ينتج إما عن احتراق مفاعل نووي يرافقه انتشار للمواد المشعة في الجو، أو تسرب وقود نووي في منشأة معالجة الوقود.

ولقد تكررت هذه النوعية من الحوادث الإشعاعية لمفاعلات القوى النووية مرات عديدة في أماكن مختلفة بالعالم خلال السنوات السابقة. ومثال ذلك حادثة محطة هالك كيفر بدولة كندا في العام 1952، حينما تعثرت إجراءات إيقاف التفاعل النووي داخل المفاعل نتيجة لعطل في أقطاب التحكم، مما أدى إلى تحطم قلب المفاعل النووي وتلوث ماء التبريد بالإشعاع نتيجة اختلاطه بمكونات المفاعل.

ولقد تم التحكم في هذا الماء وتصريفه في منطقة معزولة لا تصل إليها أيدي العامة من الناس. ولقد سجلت هذه الحادثة دوليا وعرفت بأول حادثة نووية في مفاعل نووي، ولم ينتج عنها خسائر جسيمة.

وفي العام 1957 اشتعلت النيران بمفاعل «وندسيكل» في مدينة ليفربول بإنجلترا نتيجة خلل في تبطئة النيوترونات. أدى الحادث إلى تلوث 200 ميل مربع بالمواد المشعة وتشخيص 30 حالة سرطان لاحقا. وخلال العام 1958 تم رصد حادثة نووية في جبال أوران بالاتحاد السوفييتي، ولكن لم تُبلغ أو تسجل أي معلومات بخصوصه من قبل السلطات السوفييتية.

وشهد العام 1961 حادثا نوويا جديدا عندما تسبب انفجار بخاري بمفاعل أس أل 1 (SL – 1) قرب إيداهو بالولايات المتحدة الأمريكية بمقتل ثلاثة من العاملين بالمفاعل. ثم جاء العام 1979 حيث وقعت حادثة في «ثري مايل آيلند» بالولايات المتحدة الأمريكية حيث انصهر قلب المفاعل وانفلتت كميات كبيرة من المواد المشعة إلى الجو.

ووقعت أشهر وأخطر حادثة وهي حادثة تشيرنوبل في العام 1986 عندما انصهر قلب المفاعل النووي نتيجة لخطأ فني في التشغيل، مما أدى إلى خروج المواد المشعة [مثل السيزيوم -137 (Cs - 137) واليود -131 (I - 131) والسترنشيوم -90 (Sr - 90) والكربون -14 (C - 14) والهيدروجين -3 (H - 3) والكريبتون 85 (Kr - 85) – ... إلخ]

الموجودة داخل قلب المفاعل كنواتج لعملية الانشطار النووي المنتج للطاقة. مما تسبب في حدوث تلوث بيئي واسع النطاق شمل الاتحاد السوفييتي وأوروبا وتركيا وبعض دول الشرق الأوسط.

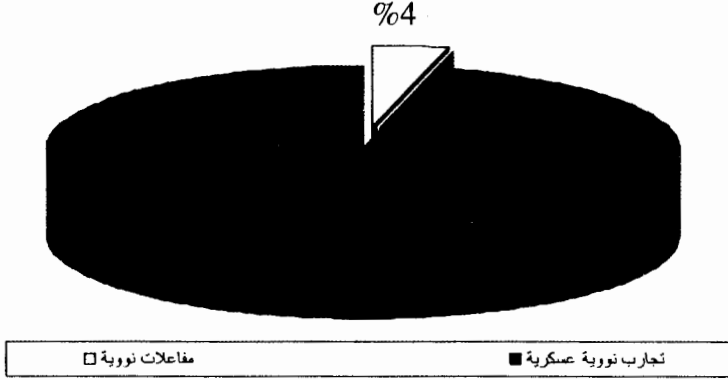
وكان أحد أسباب هذه الحادثة وهذا التلوث البيئي الكبير هو افتقار المفاعل النووي إلى وسائل التحكم الحديثة إلى جانب عدم وجود الغطاء الخراساني الذي يحيط بالمفاعل ويمنع انتشار المواد المشعة إلى خارج المفاعل في حال حدوث انصهار لقلب المفاعل كالذي حدث في تشرنوبل. وقد قدّر متوسط إجمالي الجرعة السنوية الفعالة التي تعرض لها الفرد بحدود 0.002 ميكرو سيفرت نتيجة لحادث تشيرنوبل. وتوضح الصورة التالية حجم الدمار الناتج لمنشآت المفاعل بعد وقوع الحادث.

صورة لمفاعل تشيرنوبل بعد انفجاره

وأخيرا تسببت تسونامي في حادث نووي شهير في أحد مفاعلات القوى النووية باليابان في شهر مارس من هذا العام (2011) وهو مفاعل فوكوشيما، وتسبب في تسرب إشعاعي ولكنه لا يقارن بحادثة تشيرنوبل ولم ينتج عنه أي تسربات عالية كالتي حدثت مع حادثة تشيرنوبل.

ويوضح الشكل البياني أنواع التعرض الإشعاعي الصناعي الناتج من استخدام مفاعلات القوى النووية والتفجيرات النووية ومقدار الجرعة السنوية الفعالة الناتجة من التعرض لهذا النشاط.

التعرض للإشعاع الصناعي الناتج من مفاعلات القوى النووية والتجارب النووية العسكرية

تجارب نووية عسكرية ■ مفاعلات نووية □

والشكل البياني السابق يؤكد أن الاستخدام السلمي الآمن للطاقة النووية من أجل توليد الكهرباء ينتج ضررا طفيفا للغاية يساوي 1/25 من الضرر الناتج من التفجيرات النووية. مما دفع الدول العظمي والكبرى إلى تبني سياسة حظر التجارب النووية في جميع بلاد العالم.

(2 - 5) مصادر صناعية اخرى

أدى التقدم الكبير في مجال إنتاج النظائر المشعة وكذلك أنابيب أشعة الكاثود والذي حدث خلال العقود الأربعة الماضية إلى ظهور بعض المنتجات الاستهلاكية المشعة، وهذه المنتجات نستخدمها في حياتنا اليومية كساعات اليد والحائط والمنبهات والتي يصدر عنها وميض ضوئي في الظلام بفعل عنصر الراديوم والذي كان يستخدم في الماضي في صنع عقارب هذه الساعات وقد استُبدل بعنصر الهيدروجين -3 (3 - H) وأجهزة التلفاز وبخاصة التلفاز الملون والتي ينتج عنها قليل من الأشعة السينية من أنبوبة أشعة الكاثود داخل شاشة التلفاز. وذلك بالإضافة إلى بعض كواشف الحريق والتي يكثر استخدامها بأماكن العمل والمرافق العامة وأماكن الترفيه كدور السينما والمسارح وبعض المساكن.

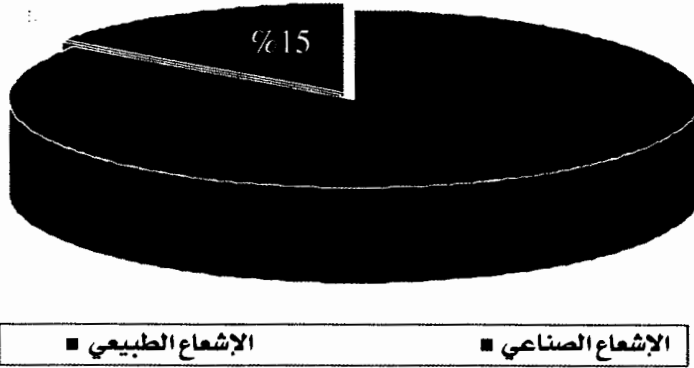
وهذه الكواشــف تحتوي على عنصر الأمريســيوم -241 (Am - 241) حيث تعتمد في نظرية عملها على حدوث تأين ينتج عنه تيار كهربي، وذلك في حال حدوث حريق.

كما تســتخــدم أيضا أجهزة أشــعة ســينية خاصــة بفحص أمتعة الركاب في المطارات والموانئ والمنافذ الحدودية ذات تســرب إشــعاعي ضئيل للغاية.

ويقدر متوسط إجمالي الجرعة السنوية الفعالة التي يتعرض لها الفرد في حدود 10 ميكرو ســيفرت نتيجة للتعرض للأشعة السينية الناتجة من شاشــة التلفاز بينما تقل بنسبة كبيرة جدا في بقية المنتجات الاستهلاكية لدرجة يمكن إهمالها تماما.

ويلخــص الجدول أدنــاه مقدار التعــرض الإشــعاعي الصناعي، فــي حين يمثـل الشــكــل البيانــي الـذي يليـه التعـرض الإشــعاعي الصناعي والطبيعي.

مقدار التعرض الإشعاعي الصناعي

	نوع التعرض الإشاعي	الجرعة السنوية الفعالة (مياللي سيفرت)
1	فحوص طبية	0.4 ميللي سيفرت
2	مفاعلات قوى نووية	0.0002 ميللي سيفرت
3	استخدامات عسكرية	0.005 ميللي سيفرت
4	حادثة تشيرنوبل	0.00002 ميللي سيفرت
5	مصادر صناعية أخرى	0.01 ميللي سيفرت
	الإجمالي	0.41522 ميللي سيفرت

التعرض الإشعاعي طبقا للمصادر الأساسية

مسلسل	نوع التعرض	الجرعة (ميللي سيفرت)	النسبة المئوية
1	غاز الرادون	1.26	% 46.13
2	أشعة غاما الأرضية	0.48	% 17.57
3	فحوص طبية	0.4	% 14.65
4	أشعة كونية	0.39	% 14.28
5	جسم الإنسان	0.186	% 6.81
6	مصادر صناعية أخرى	0.01	% 0.36
7	استخدامات عسكرية	0.005	% 0.18
8	مفاعلات نووية	0.0002	% 0.0073
9	حادثة تشيرنوبل	0.00002	% 0.0007
	الإجمالي	2.73122	% 100

الاستخدامات الأخرى تعني كلا من المفاعلات النووية والاستخدامات العسكرية وحادثة تشيرنوبل وأخيرا الاستخدامات الصناعية الأخرى.

مما سبق يتضح لنا أن غاز الرادون هو المساهم الأكبر في الجرعة السنوية الفعالة دون بقية أنواع التعرض الإشعاعي، وذلك كما هو موضح في الجدول والشكل البياني السابقين.

وحدات قياس الإشعاع

تنقسم وحدات قياس الإشعاع إلى أربعة أنواع. الأول يختص بقياس القوة الإشعاعية للعنصر المشع مثل وحدات قياس النشاط الإشعاعي ووحدة زمن عمر النصف للعنصر المشع. والثاني هو وحدة التعرض الإشعاعي وهي عبارة عن قياسات فيزيائية لكمية الإشعاع الصادر من العنصر المشع. والنوع الثالث عبارة عن قياسات فيزيائية وحيوية معا لكمية الإشعاع الصادر من العنصر المشع ومقدار تعرض الكائنات الحية ومنها الإنسان لهذا الإشعاع ومدى تأثرها به، ويهدف هذا النوع إلى تحويل القياسات الفيزيائية إلى مخاطر صحية كمية يمكن تحديدها وتقديرها عندما يتعرض الإنسان أو الكائنات الحية الأخرى وكذلك المواد كالأطعمة للإشعاع. وهذه الوحدات هي وحدة قياس التعرض الإشعاعي ووحدة قياس امتصاص الإشعاع ووحدة الجرعة المكافئة وأخيرا وحدة الجرعة الفعالة. ثم النوع الرابع وهو عبارة عن وحدات لتحديد مستوى الوقاية الإشعاعية في كل بلد على حدة، مثل وحدة الجرعة المودعة

ووحدة متوسط الجرعة السنوية الفعالة ووحدة الجرعة المجمعة الفعالة. وتعكس هذه الوحدات مقدار التقدم في الدول في مجال تطبيق شـــروط الســـلامة الإشعاعية وتختلف من دولة إلى أخرى وفقا للإمكانات المتاحة ومدى دقة نظام مراقبة تطبيق قواعد وشروط السلامة الإشعاعية. كما تعطي مؤشرا عن حجم استخدام الإشعاع الذري في كل دولة.

وحدات قياس النشاط الإشعاعي (Activity):

وحدة الكيوري (Curie (Ci

تعتبـــر الكيوري هي الوحـــدة التقليدية لقياس كمية الإشـــعاع الصادر من العنصر المشـــع وهو ما يعرف بالقوة الإشـــعاعية للمصدر أو النشـــاط الإشعاعي (activity). ووحدة الكيوري تعرف كما يلي:

1 كيوري = 3.7×10^{10} تحلل نووي / ثانية. ويشتق منها الميللي والميكرو والنانو والبيكو كيوري.

ولقد ســـميت هذه الوحدة بالكيوري نســـبة إلى مدام كيوري نظرا إلى نجاحها في وضع وحدة لقياس النشاط الإشعاعي خلال اكتشافها لعنصر الراديوم المشع في العام 1896.

وحدة البيكريل (Bq):

البيكريل هي الوحدة الدولية لقياس النشاط الإشعاعي وتعرف كالآتي:

1 بيكريل = تحلل واحد / ثانية.

أي أن 1 كيوري = 3.7×10^{10} بيكريل.

ومضاعفات البيكريل كيلو وميغا وغيغا وتيرا بيكريل.

ولقد سميت هذه الوحدة على اسم العالم هنري بيكريل الذي اكتشف ظاهرة الإشعاع الطبيعي من خلال اكتشافه للأشعة الصادرة من ملح اليورانيوم.

وحدة زمن عمر النصف (Half Life Time)

زمن عمر النصف للعنصر المشـــع هو الزمن الذي يقل خلاله النشـــاط الإشـــعاعي للعنصر المشـــع إلى النصف. وهذه الوحدة تمكننا من التحديد الدقيق للنشـــاط الإشـــعاعي للعنصر المشـــع خلال فترة زمنية معينة. فلو

فرضنـــا مثلا أن النشـــاط الإشـــعاعي لكمية من عنصر التكنشـــيوم 99م يساوي 10000 بيكريل، مع العلم أن زمن عمر النصف لهذا العنصر هو 6 ســـاعات، فإن النشاط الإشعاعي يصبح 5000 بيكريل بعد 6 ساعات. ثم يكون 2500 بيكريل بعد 12 ساعة وهكذا.

وحدة التعرض الإشعاعي:

روينتغن (R)

هي الوحـــدة التقليدية المعروفـــة لقياس مقدار التعرض الإشـــعاعي، وهي تصلح فقط لنوعين اثنين من الأشـــعة، وهما الأشـــعة السينية وأشعة غاما. كما أنها أيضا تقيس مقدار التعرض الإشـــعاعي في وســـط ممتص وحيد وهو الهواء. ويعرف الروينتغن الواحد بأنه كمية الأشعة المؤينة والتي تتســـبب في تكوين أيونات موجبة وسالبة شحنتها 2.58×10^{-4} كولوم(*) (Coulomb) في واحد كيلو جرام من الهواء.

ولأن وحدة قياس التعرض الإشـــعاعي لا تمكننا من دراســـة مقدار الجرعة المتصة إشـــعاعيا داخل الجســـم البشري، أي داخل المادة، ولا تعبّر إلا عن وســـط ممتص وحيد هو الهواء فقط، لذا جرى التفكير في تصميم وحدات قياس إشـــعاعي أخرى يمكن مـــن خلالها تقدير كمية الضرر أو الأذى الناتج داخل أجســـام الكائنات الحية بما فيها الإنسان طبعا نتيجـــة لامتصاصها الأشـــعة النووية بمختلـــف أنواعها. وعملية امتصاص الإشـــعاع الذري داخل أجســـامنا تماثل تماما ما يحدث لأي شخص عندما يشعر بالدفء عند تعرضه لأشعة الشمس نتيجة لتراكم الطاقة داخل جسمه، مع فارق وحيد، وهو أننا لا نشعر بالتأثير المباشر للإشـــعاع الذري الممتص، بأجســـادنا. ولذا تكمن أهمية وجود وحدات لقياس الإشعاع الذري الممتص وكذلك وحدات أخرى لتفسير التأثيرات الحيويـــة الممكن حدوثهـــا نتيجة للتعرض الإشـــعاعي. ومن هنا ظهرت وحدات جديدة.

(*) كولوم (Coulomb): الوحدة العالمية لقياس كمية الشحنات الكهربية.

وحدات قياس امتصاص الإشعاع (Absorbed Dose):

راد (RAD)

وهذه هـــي الوحدة التقليديـــة وهي عبارة عــن تجميع للحروف الأولى للكلمات الثـــلاث Dose، Absorbed، Radiation أي الجرعة الممتصة من الإشـــعـــاع. وهـــذه الوحـــدة تصلح لجميع أنواع الأشعة المؤينـــة (ألفـــا - بيتا - غاما - الأشـــعة الســـينية - البوزيترونات - النيترونات - الأيونـــات الموجبة والأشـــعة الكونية). كما تصلح أيضا لجميع الأوســـاط الممتصـــة كالماء والهواء والمعـــادن والكائنات الحية والأجسام البشرية وغيرها.

غراي (Gray Gy)

هـــذه هي وحدة قياس امتصاص الإشـــعاع في نظام الوحدات العالمي. ولقد سميت على اسم العالم غراي مصمم هذه الوحدة. وتعرف كالتالي:

1 غراي = 1 غول / 1 كيلوغرام

أي كميـــة طاقة قدرها واحد غـــول (Joule) (*) ممتصة في وحدة كتل قدرها واحد كيلوغرام. كما أن 1غراي = 100 راد.

المعاملات الحيوية (Biological Factors)

للتعرف على التأثير البيولوجي للإشـــعاع ابتكر العلماء تقنية علمية لمعرفة مـــا يحدث داخل الوســـط الحي عند مرور الإشـــعاع به، وهذه التقنية ســـميت بالانتقـــال الخطي للطاقـــة (LET) حيث يقاس مقدار الطاقة المنتقلة (الممتصة) خلال وحدة أطوال لمســـار الإشـــعاع في الماء (الوســـط الممتص) ولقد كان اختيـــار الماء لأنه يقـــارب الخلايا الحية مـــن حيث التكوين الكيميائي والحيوي. وفي هـــذه التقنية قيس مقدار التأيين الذي يحدث في جزيئات الماء نتيجة لمرور الإشعاع الذري خلال

(*) جول (Joule): الوحدة العالمية لقياس الطاقة.

مسـافات خطية متناهية الصغر (تقدر بالميكرومتر). ويحسـب مقدار التأيـين الناتج من خلال قياس كمية الشـحنات التي تكونت داخل الماء نتيجة مرور الإشعاع بها. ولقد أجريت تجارب عديدة من هذا النوع على جميع أنواع الأشـعة المؤينة حتى يمكن التفرقـة بينها من حيث قدرتها على إحداث تأيين داخل الماء، وبالتالي داخل الخلايا الحية، مما يسهل معرفـة كمية الأذى أو الضرر الذي يمكـن حدوثه داخل الخلايا الحية بصفة عامة والأجسام البشرية بصفة خاصة نتيجة لتعرضها لنوع معين من الإشعاع الذري.

وبناء على ما سـبق فقد اسـتحدثت معامل جديدة سميت بمعامل الكفاءة للإشعاع لأنواع الإشعاع المختلفة. حيث تختلف قيمته من إشعاع لآخر حسـب مقدار الطاقة المؤينة التي ينتجها الإشـعاع داخل الوسط الممتص في أثناء مروره بداخله.

ولقد وجد أن كلا من الأشـعة السـينية وأشـعة غاما وأشـعة بيتا والبوزيترونـات تؤدي إلى انتقال خطى الطاقـة (LET) في حدود 10 كيلو فولت في مسار طوله واحد ميكرو متر من الماء.

وقد اتفق العلماء على أن الإشعاع الذي يسبب انتقال هذا القدر من الطاقة يكون له معامل كفاءة (QF) يساوي الواحد الصحيح (*). ولقد أثبتت التجارب العلمية أن مقدار الضرر الناتج داخل الخلايا الحية لا يعتمد فقط على نوع الأشـعة السـاقطة عليها، بل أيضا على حساسـية الجسم الممتص للإشـعاع، حيث وجد أن الجرعة الإشـعاعية الواحدة لنوع واحد من الإشـعاع يختلـف تأثيرها في أعضاء الجسـم البشري من عضو إلى آخر وفقا لحساسية العضو للإشـعاع. وبناء على ذلك تم اسـتنتاج معامل جديد سمي بمعامل الوزن النوعي لكل عضو من أعضاء الجسـم البشري [Weighting Factor (WT)].

(*) QF أصبح يرمز إليه بـ (WR) والجدول التالي يوضح معامل الكفاءة لجميع أنواع الإشعاع الذري بناء على حسابات الطاقة الخطية المنتقلة (LET).

QF = WR	نوع الأشعة
1	الأشعة السينية وأشعة غاما وأشعة بيتا والبوزيترونات
2	البروتونات
20	جسيمات ألفا والأيونات الثقيلة والأشعة الكونية

ومثال لذلك أن الجرعة نفسها للنوع نفسه من الإشعاع الذري قد تحدث تأثيرا ضارا في كرات الدم الحمراء يماثل أربعة أضعاف التأثير الضار الناتج عند سطح العظم في أثناء تعرض الجسم كله للإشعاع، والجدول التالي يوضح عامل الوزن النوعي لكل عضو من أعضاء الجسم البشري.

ومن خلال هذه المعاملات الثلاث السابقة تم تصميم وحدتين لقياس مقدار التأثير الحيوي الناتج من التعرض للإشعاع الذري وهما الجرعة المكافئة والجرعة الفعالة. حيث تختص الجرعة المكافئة بقياس مقدار الضرر الناتج في العضو المتعرض للإشعاع. أما الجرعة الفعالة فتعطي دلالة للخطر المحتمل حدوثه في الجسم كله نتيجة لتعرضه للجرعة نفسها التي تعرض لها أحد أعضاء الجسم.

الوزن النوعي (WT)	العضو
0.08	الغدد التناسلية الذكرية
0.12	كرات الدم الحمراء والقولون والرئة والمعدة والثدي
0.04	الكبد والمثانة والغدة الدرقية والمريء
0.01	أسطح العظام والمخ والجلد والغدد اللعابية
0.12	بقية أعضاء الجسم

الجرعة المكافئة (Equivalent Dose - H)

تستخدم هذه الوحدة لقياس مقدار التأثير الحيوي للإشعاع لعضو ما من أعضاء الجسم، حيث تعتمد على نوع الإشعاع الساقط وكميته والوزن النوعي للعضو. وتقاس تلك الجرعة بوحدة تسمى السيفرت (Sievert).

الجرعة الفعالة (Effective Dose - E)

تستخدم هذه الوحدة لتقييم مقدار الخطر المحتمل حدوثه في الجسم كله نتيجة لتعرضه للجرعة نفسها التي تعرض لها أحد أعضاء الجسم ويكون التمييز لهذه الوحدة هو السيفرت أيضا.

وحدات قياس مستوى الوقاية الإشعاعية

هناك ثلاث وحدات تم تصميمها لقياس مستوى التقدم في مجال الوقاية من الإشعاع في كل بلد، وكذلك للمساعدة في عمل الإحصاءات اللازمة لمتابعة مدى ملاءمة إجراءات السلامة الإشعاعية للغرض المطلوب، وهو خفض مقدار التعرض الإشعاعي لعامة الناس وللعاملين في مجالات الإشعاع الذري إلى الحدود الآمنة. وهذه الوحدات هي الجرعة الفعالة المودعة، ومتوسط الجرعة السنوية الفعالة، وأخيرا الجرعة الفعالة المجمعة. وفيما يلي شرح مبسط لتلك الوحدات الثلاث.

الجرعة الفعالة المودعة (Committed Effective Dose)

هي عبارة عن مقدار ما يتعرض له العامل من جرعات إشعاعية لمدة خمسين عاما متصلة. وتفيد هذه الوحدة في حساب الحد الآمن للجرعة الإشعاعية المسموح بها سنويا للعاملين في الإشعاع. حيث يحسب عدد الحالات التي أصيبت بأمراض (مثل مرض السرطان) من إجمالي عدد العاملين في مجال الإشعاع خلال فترة زمنية محددة (20 أو 30 أو 50 عاما). فإذا كان الرقم كبيرا يعاد النظر في حدود التعرض الإشعاعي المسموح به سنويا بحيث يتم تخفيضه. كما يجري

أيضا حساب مقدار الجرعات المودعة لمدة خمسين عاما متصلة لكل عضو من أعضاء الجسم البشري للعامل حتى يتمكن العلماء من دراسة تأثير الإشعاع المتراكم على أعضاء الجسم كل على حدة.

متوسط الجرعة السنوية الفعالة (Average Collective Dose)

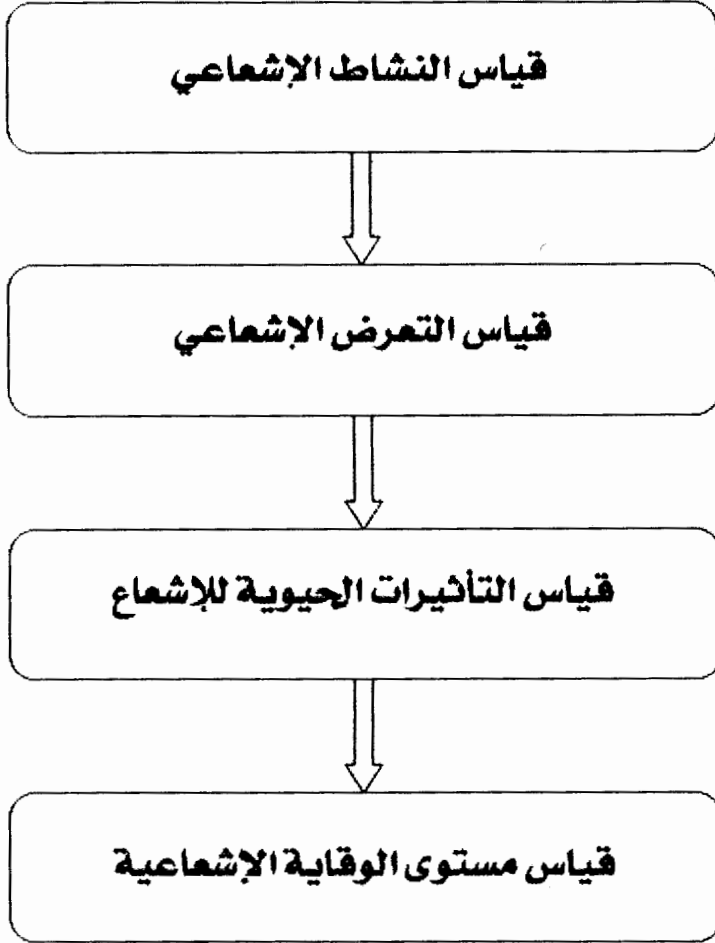
هو عبارة عن متوسط حسابي لمقدار الجرعة الفعالة السنوية والتي يتعرض لها العاملون في مجال ما وليكن أحد أقسام الطب النووي في دولة ما. لنفرض أن عدد العاملين يساوي خمسة أفراد تعرضوا لجرعات فعالة سنوية تساوي 10 و12 و13 و8 و7 مللي سيفرت. فإن متوسط الجرعة الفعالة السنوية لهم يكون كالتالي:

$$\frac{7 + 8 + 13 + 12 + 10}{5} = 10$$ مللي سيفرت في العام

والمثال السابق يمثل مستوى راقيا للوقاية الإشعاعية حيث إن هذا المتوسط يمثل نصف قيمة الجرعة المسموح بها دوليا للفرد العامل في مجال الإشعاع.

الجرعة الفعالة المجمعة (Collective Effective Dose)

هي عبارة عن متوسط الجرعة الفعالة السنوية مضروبا في عدد العاملين في مجال الإشعاع الذري. وتعطى هذه الوحدة دلالة على حجم الاستخدام للإشعاع الذري في دولة ما. وتزيد هذه النسبة كلما زاد مقدار الفحوص الطبية التي تستخدم الإشعاع الذري في عملها، وأيضا كلما زاد عدد المحطات النووية المستخدمة لتوليد الطاقة الكهربية وما إلى ذلك من الاستخدامات السلمية للإشعاع الذري. ومما سبق ذكره يتضح أن تصميم وحدات قياس الإشعاع قد تطور بدءا من إيجاد وحدة لقياس امتصاص الإشعاع داخل الأوساط المادية المختلفة وانتهاء بوجود وحدة لقياس مستوى الوقاية الإشعاعية لكل دولة على حدة، وذلك من أجل تطوير نظم الوقاية الإشعاعية تحقيقا لمبدأ الاستخدام السلمي الآمن للإشعاع الذري.

ومما سبق يتضح أن علم قياس الإشعاع وتأثيره في الإنسان واحتياجاته الحياتيـــة من الكائنات الحية والمواد الغذائيـــة قد تطور على النحو التالي الموضح في الرسم أدناه.

كما يلخص الجدول التالي أنواع قياسات الإشعاع الذري والوحدات التابعة لكل نوع على حدة وفقا للنظام العالمي للقياس والمعايرة.

مسلسل	نوع القياس	وحدات القياس
1	قياس النشاط الإشعاعي	√ بيكريل -(Bq) تحلل واحد / ثانية √ زمن عمر النصف (Half Life Time)
2	قياس التعرض الإشعاعي	√ روينتغن (R)
3	قياس التأثير الحيوي للإشعاع	√ الجرعة الممتصة (Absorbed Dose) √ الجرعة المكافئة (Equivalent Dose - H) √ الجرعة الفعالة (Effective Dose - E)
4	قياس مستوى الوقاية الإشعاعية	√ الجرعة الفعالة المودعة (Committed Effective Dose) √ متوسط الجرعة السنوية الفعالة (Average Collective Dose) √ الجرعة الفعالة المجمعة (Collective Effective Dose)

4

الاستخدامات السلمية للإشعاع

أدى اكتشاف الإشعاع الذري وخصائصه إلى حدوث ثورة هائلة في العديد من المجالات المهمة في الحياة البشرية كالطب والصناعة والزراعة والبحث العلمي وإنتاج الطاقة الكهربية، وهذه تعرف بالاستخدامات السلمية للإشعاع الذري، هذا بالطبع إلى جانب الاستخدامات الذرية في المجالات العسكرية، وهو أمر غير مرغوب فيه من قبل شعوب العالم المتحضر. بات واضحا اليوم أن استخدام الطاقة النووية دخل في معظم المجالات، ومن المؤكد اتساع استخدامها مع بدايات القرن المقبل. وسوف نلقي الضوء بشيء من التفصيل خلال هذا الباب حول الاستخدامات السلمية الرئيسية للإشعاع الذري في مجالات الصناعة والزراعة والبحث العلمي والطب.

«عند سماع كلمة نووي تتبادر إلى ذهن كثير من الناس المواد النووية التي تستخدم في المعدات الحربية ذات الأضرار الخطيرة على الجسم البشري. ولكن المواد المشعة التي تستعمل في الطب النووي ما هي إلا مواد تنطلق منها نسبة صغيرة من أشعة غاما غير الضارة التي تستخدم في التشخيص»

المؤلفان

استخدام الأشعة الذرية في الصناعة

مفاعل نووي يستخدم في توليد الطاقة للاستخدامات السلمية

أصبح مجال استخدام الأشعة الذرية في الصناعة واسعا للغاية، وعلى سبيل المثال لا الحصر فهي تستعمل في توليد الكهرباء وتصنيع الحديد والصلب والأسمنت والسيراميك والسيارات والطائرات وقياس ورصد ومراقبة سمك الصفائح المعدنية، والمناديل الورقية والمنسوجات، والصحف، والبلاستيك، وأفلام التصوير والأواني الزجاجية وغيرها من المنتجات، ولمعايرة أجهزة القياس، ولتوليد الحرارة أو الكهرباء لمحطات الأرصاد الجوية عن بعد والأقمار الصناعية والتطبيقات الفضائية الخاصة الأخرى وضبط الجودة في العديد من المنتجات الصناعية وأضحت كثافة الكثير من المواد وفحص المنتجات تقاس بمقاييس خاضعة لأجهزة نووية مثل كميات الحديد في السيارات ومحركات الطائرات النفاثة وهياكلها.

استخدام الأشعة الذرية في توليد الكهرباء

تستـــغل الطاقــة الهائلة للذرة عن طريق المفاعـــلات النووية في توليد الكهرباء بتكلفة أقل وتلوث بيئي أقـــل مقارنة بالطرق التقليدية لتوليدها، ولكن التخطيط وبناء وتشـــغيل تلك المفاعـــلات عملية معقدة وتحتاج إلى وقت وتكلفة مبدئية مادية هائلة.

وتشـــير إحـــدى الإحصائيات إلى أن نســـبة 25% من كهربـــاء العالم مصدرها الآن محطات نووية، ويقدر البعض عدد هذه المحطات بما يقرب مـــن 510 محطات في أكثر من 40 بلدا من بلـــدان العالم، وفي الولايات المتحدة وحدها يوجد أكثر من مائة مفاعل نووي مسؤولة عن توليد 22% مـــن الكهرباء الأمريكية. وعلى رغم أن المفاعلات النووية يمكن تســـميتها بالمصدر النظيف للكهربـــاء مقارنة بالمناجم مثلا كطريقة لتوليد الكهرباء، فإن كميات صغيرة من المواد المشعة تنبعث إلى الجو أثناء عمل المفاعل مثل الكربون - 14 المشع واليود - 131 المشع.

وقد يتعجب القارئ عندما يعلم أن محطة إنتاج طاقه باســـتخدام فحم المناجم قد ينتج عنها مائة ضعف من التلوث الإشـــعاعي بالمقارنة بمحطة إنتاج طاقة مماثلة باستخدام المفاعلات النووية، حيث إن تلك المناجم تنتج عنها مواد مشـــعة، حيث يحتوي الفحـــم على كميات صغيرة من اليورانيوم والباريوم والتوريوم والبوتاســـيوم المشـــعين. والمعروف أنه في العام 1982 نتج عن عمليات إحراق الفحم تلوث إشـــعاعي بلغ 155 مرة مما ينتج عن حادثة المحطة النووية في جزيرة الثلاثة أميال (Three Mile Island).

استخدام الأشعة الذرية في معرفة التركيب الكيميائي للخامات

تستخدم الأشعة الذرية في تحليل الخامات المستخدمة في الإنتاج الصناعي وذلـــك من خلال معامل مـــزودة بأجهزة خاصة، عن طريقهـــا يُعرف التركيب الكيميائـــي للخامات وعناصرهـــا، وكذلك تحديد الطـــور الفيزيائي للفلزات المكونة لهذه الخامات. وتعتبر هذه التحاليل مهمة للغاية في العملية الإنتاجية، حيث يترتب عليها وبشـــكل أساســـي ضبط جودة المنتجات كما هي الحال في صناعة الحديد والصلب والأسمنت والأسمدة وغيرها من الصناعات.

استخدام الأشعة الذرية في إنتاج الحديد والصلب

تستخدم أشعة غاما في التحكم الآلي في بعض خطوط الإنتاج، ومثال لذلـك عمليـة التحكم الآلي في صـب الصلب المنصهـر، حيث يتم وضع مصدر لأشعة غاما مثل كوبالت - 60 أو سيزيوم - 137 عند أحد جوانب آلة الصب، وفي الجانب الآخر يوضع كاشـف إشعاعي يستقبل أشعة غاما المنبعثة مـن المصدر، وفي أثنـاء عملية صب الصلـب المنصهر ينبغي ألا يسـتقبل الكاشـف أي إشـعاع، ويتم ضبط جهاز التحكم على أساس أن يسـتمر الصب لمدة 5 ثوان مثلا، تكون كافية لتكوين كتلة صلب ذات أبعاد معينة مطلوبة، ومعنى ذلك أن الكاشف سوف يستمر لمدة 5 ثوان لا يستقبل خلالها الأشعة، ثم يتم بعد ذلك فصل عملية الصب آليا لفترة زمنية تفصل بـين كل صبة وأخـرى، وهكذا يتم التحكم آليا فـي صب الصلب المنصهر بكميات متساوية طبقا للمواصفات المطلوبة.

استخدام الأشعة الذرية في إنتاج الأسمنت

يستخدم أيضا نظام مشابه لما سـبق شرحه لضبط مستويات الخامة في خزانات مصانع الأسمنت، حيث يتم دفع الخامات مباشرة إلى خزانات ضخمة عملاقة تصل سعة الخزان الواحد إلى نحو 50 أو 60 طنا، وتلزم معرفة مستوى الخامة في الخزان قبل عملية الدفع تفاديا لحدوث مشاكل في خطوط الإنتاج، ويتم ذلك عن طريق تثبيت مصادر مشعة وهي كوبالت - 60 أو سـيزيوم - 137 على أحد جوانب الخزان، ويتم تثبيت كواشـف لأشـعة غاما على الجانـب الآخر، ففي حالة وجود خامـة داخل الخزان سـوف تمتص أشـعة غاما، وتمنع وصولها إلى الكاشـف، فيعطينا إشارة كهربية تؤخذ على لوحة بيان موجودة في غرف مخصصة للتحكم في سير العملية التصنيعية، ويكون معنى هذه الإشـارة أن الخزان ممتلئ، وبالتالي تمنع عملية دفع خامات جديدة داخل الخزان.

وفي حال نقص الخامة داخل الخزان، فإن أشعة غاما سوف تصل إلى الكاشف، فيعطى إشارة معاكسـة للتي سبقت على لوحة البيان في غرفة التحكـم، مما يعني أن الخزان فارغ، وبالتالي يمكن دفع الخامة إليه بأمان

تام، وفي الغالب يتم تثبيت هذه المصادر والكواشف على ثلاثة مستويات للخزان (أسفل ووسط الخزان وأعلاه) وبالتالي يمكن تحديد حالة امتلاء الخزان بالخامة بصورة أكثر دقة.

استخدام الأشعة الذرية في اختبار جودة المنتجات

تستخدم الأشعة الذرية في إجراء الفحوص غير الائتلافية على المنتجات النهائية لبعض العمليات التصنيعية مثل تصوير مواسير صلب بواسطة أجهزة أشعة سينية متنقلة أو بواسطة أشعة غاما، ويتم من خلال هذا الفحص اختبار جودة المنتج النهائي ومدى صلاحيته للاستخدام، من حيث الكشف عن وجود شروخ سطحية أو داخلية أو أي عيوب تصنيعية أخرى.

كما تستخدام المواد المشعة في ضبط جودة صناعة إطارات السيارات، حيث تضاف بعض المواد المشعة إلى الإطارات، وتقاس كمية الإشعاع الصادر منها بواسطة أجهزة قياس معينة، يلي ذلك اختبار هذه الإطارات على الطريق لمسافات معينة ثم تقاس كمية الإشعاع الصادر منها بعد إجراء هذا الاختبار، وبالتالي إذا حدث نقص في مستوى القراءة فإن هذا يدل على حدوث تآكل في الإطار، ويمكن حساب درجة التآكل الحادث في الإطار من خلال مقدار النقص الحادث في كمية الإشعاع الصادر منه الإطار، وهكذا فإنه يمكن تقييم جودة التصنيع ونوع الخامات المستخدمة من خلال هذا الاختبار بحيث يصنع الإطار من مواد يكون معدل تآكلها بطيئا وقليلا مما يزيد من العمر الافتراضي لهذه السلعة المهمة.

استخدام الأشعة الذرية في الزراعة

استفاد المجال الزراعي كثيرا من استخدام المواد المشعة حيث أنتجت كمية هائلة من البذور ذات الإنتاجية العالية من خلال استخدام الأشعة الذرية، وبخاصة أشعة غاما والأشعة السينية، لإحداث طفرات في نوعية البذور من خلال تغيير التركيب الجيني لها، واستنباط أصناف جديدة تتميز بالإنتاجية العالية والمقاومة العالية للأمراض، وهناك أنواع أخرى

تم اســتنباطها يمكن أن تزرع اعتمادا على الماء المالح مما يعطي الأمل في التوســع مســتقبلا في الزراعة باســتخدام مياه البحر دونما الحاجة إلى تحليتها، ومازالت الأبحاث الزراعية تجرى على قدم وساق في هذا المجال باستخدام المواد المشعة بغية الوصول إلى أفضل النتائج الممكنة للتغلب على الفجوة الغذائية في العالم.

واستخدمت أيضا الأشعة النووية في مجال مكافحة الحشرات الضارة بالنباتــات والمزروعات، ولقد كان لاســتخدام المبيدات الحشــرية بشــكل عشــوائي للقضاء على الحشرات الضارة مثل ذبابة الفاكهة وذبابة البطيخ ودودة القطن أضرار جســيمة أثرت في جودة التربة، وأدت إلى تلوث الماء والهــواء والتربة مما يؤثر بشــكل مباشــر على صحة الإنســان والحيوان والنبــات أيضا، كما أدت إلى القضاء على بعض أنواع الحشــرات النافعة مثل دودة القز ونحل العسل، وموت بعض الحيوانات والطيور النافعة بسبب التسمم الذي أصابها، مما دفع العلماء إلى التفكير فى حلول بديلة نظيفة بيئيا. وكان أحد هذه الحلول الجيدة هو استخدام الحشرات العقيمة، ويتم الحصول على هذه الحشرات من خلال تعريض ذكورها فى طور الشرنقة المتأخر لجرعات محددة من الإشــعاع كافية لجعلهــا عقيمة، ويكون هذا الإشــعاع عبارة عن أشــعة غاما الصادرة من الكوبالت - 60 أو السيزيوم - 127، وعقب إنتاج تلك الحشــرات العقيمة بعد تشعيعها ذريا تطلق في الحقــول والمزارع فتتزاوج مع نظيراتها من الجنس الآخر دونما حدوث أي تكاثر، مما يؤدي بعد فترة زمنية إلى القضاء على هذا النوع من الحشرات. ولقــد نجحت بالفعل بعــض البلدان في القضاء علــى بعض هذه الآفات الزراعيــة، ومازال البحث العلمي في هذا المجال يعمل بكل جهد على أمل الحصول على أفضل النتائج الممكنة.

أمــا المحاصيل الزراعية المنتجة فقد حظيت هي الأخرى بفوائد كثيرة من استخدام المواد المشــعة، حيث يتم تعقيمها عن طريق تعريضها لأشعة غاما من أجل قتل البكتيريا الضارة والميكروبات، مما يسهل حفظها لفترات زمنية طويلة مــن دون حدوث تلف لها. وعملية تشــعيع المواد والمحاصيل الغذائية بأشــعة غاما تتم علــى يد علماء متخصصــين، بجرعات معينة

لا ينتـج عنهـا أي اختلاف في كيمياء هذه المواد، ممـا يجعلها آمنة تماما للاسـتخدام الآدمي، ولا ينتج عنها أي تلوث إشعاعي للمحاصيل، حيث لا تمزج المواد المشـعة بها، ولكن فقط يتم تعريضها تعريضا خارجيا للأشعة الذرية بينما تكون المحاصيل معزولة تماما.

استخدام الأشعة الذرية في مجالات التغذية

يعتبـر العلماء العاملون في مجالات التغذية أن النظائر المشـعة قد أمدت العالـم بطريقة بالغة الأهمية، إذ تحقق زيادة الإنتاج الحيواني والإنتاج النباتي علـى حد سـواء، وعليه بدأ إعلان الحـرب النووية على الجـوع، وهذه حرب مطلوبة لأنها تسـاعد على رفاهية الإنسـان، كما سـاهمت الذرة في تحسين سـلالات المحصولات الزراعية والحيوانية، وسـاعدت أيضا في عملية تعقيم اللحـوم والخضـراوات وحفظهما مـن التلوث والتلف، ويعتبـر حفظ الأغذية بطريقة تعريض المواد الغذائية لجرعة مناسـبة من الإشـعاعات النووية - كما ذكر سـلفا - أحدث طريقة ابتكرها الإنسـان، وهي تختلف عن وسائل التعقيم الأخرى مثل التجفيف والتجميد والبسترة التقليدية والتعليب والتبريد... إلخ.

وهناك طريقتان لحفظ الغذاء بالإشـعاعات النووية وهما: البسـترة الإشعاعية والتعقيم الإشعاعي، وفي حالة البسترة الإشعاعية تعرض المواد الغذائية (نباتية كانت أم حيوانية) لجرعات صغيرة من الإشعاعات النووية الصـادرة من نظير مشـع، أما فـي حالة عملية التعقيم الإشـعاعي فيتم تعريض المواد الغذائية لجرعات أكبر بكثير من تلك الجرعات المسـتخدمة في عملية البسترة الإشعاعية.

وتستخدم في الطريقتين السـابقتين جسيمات بيتا وأشعة غاما، وقد أمكن بهذا حفظ كميات هائلة من الأغذية التي كانت تفقد نتيجة تعرضها للأوبئة والميكروبات المختلفة التي تفسدها، إذ إن نحو 35% من المحصول الغذائـي العالمي كان يفقد ولا يسـتفاد منه مطلقا، وذلك قبل اسـتغلال الـذرة في حفظ هذه الكميـات الهائلة، ليس هذا فقط، بـل أمكن زيادة المحصول الغذائي بفضل اسـتخدام أشـعة غاما نظرا إلى قدرتها الكبيرة على اختراق المواد التي تتعرض لها، كما أمكن اسـتخدام الأشعة السينية

والحـــزم الإلكترونية التي تقـــدر طاقتها بنحو 5 ملايـــين إلكترون فولت، ويمكن اســـتخدام جسيمات ألفا في حالات استثنائية. وفي الحقيقة، فإن حفظ الغذاء (نباتـــي أو حيواني) بهاتين الطريقتين الإشـــعاعيتين يجنبنا اســـتخدام المبيدات الكيميائية، فضلا عن أنهما وسيلة فعالة للقضاء على ومنع تنبيت المحاصيل النباتية فترة تخزينها.

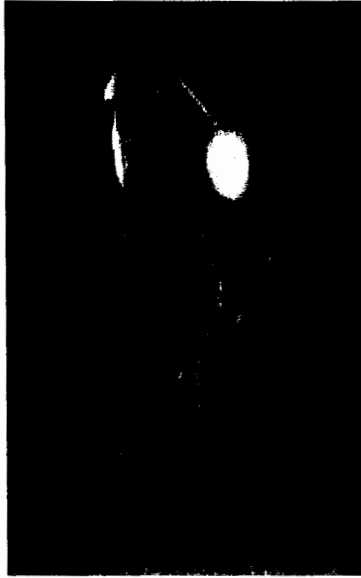
وهنـــاك بعض الأغذية قد لا يصلح فيها اســـتخدام طريقة التشـــعيع، وعليـــه فإن مـــن الضروري الإبقاء على الطـــرق التقليدية للحالات التي لا يمكن اســـتخدام الإشـــعاعات النووية فيها، كما أن بعض النظائر المشـــعة لها تأثير ســـلبي في نمو بعض النباتات، ومن هذه النظائر الفوسفور الذي يسبب إعاقة نمو النبات.

ومما سبق، فإن البحوث المتعلقة بمعالجة المواد الغذائية نباتية كانت أم حيوانية بطريقة التشعيع النووي قد أثبتت جدواها ونجاحها بالإضافة إلى إمكانيات القضاء على الطفيليات وجراثيم التســـمم الغذائي والميكروبات المرضية الأخـــرى مع المحافظة على القيمة الغذائيـــة الموجودة في الغذاء النباتي أو الغذاء الحيواني على السواء.

استخدام الأشعة الذرية في البحث العلمي

أســـهمت الأشـــعة الذرية بقدر كبير في مجال البحث العلمي، ولايزال نطاق اســـتخدامها يتوسع في هذا المجال ليشـــمل عددا كبيرا من جوانب البحث العلمي، وســـوف نركز خلال الأســـطر القليلـــة التالية على جانبين فقط مـــن جوانب هذا المجـــال العظيم وهما الأبحـــاث الطبية والحيوية، والأبحاث الجيولوجية.

استخدام الأشعة الذرية في البحوث الطبية

تعتمد الأبحاث الطبية في طريقـــة عملها على مصدرين مهمين وهما النتائج الإحصائية المتوافرة من تشـــخيص علاج المرضى ومتابعة حالاتهم وتطوراتهـــا، ومدى اســـتجابتهم لعلاج ما دون الآخـــر، والمصدر الآخر هو التجارب التي تجرى على الحيوانات في المختبرات.

صورة لفأر تجارب بعد تصويره بالمواد المشعة

وقد أسفر ذلك عن اكتشاف الكثير من الأسرار العلمية التي فتحت الأبواب على علم جديد يعرف بكيمياء المخ، وهو علم يدرس التفاعلات الكيميائية التي تنتج عنها ردود أفعال أو مشاعر معينة مثل الفرح أو الاكتئاب ومازالت أسرار هذا العلم تكتشف عاما بعد عام.

وبشكل موجز، فقد أجريت هذه الأبحاث من خلال حقن بعض الحيوانات مثل فئران التجارب بمواد مشعة ممزوجة بمواد كيميائية تمتص بواسطة المخ، ثم أجريت عمليات مسح إشعاعي للحيوانات بواسطة أجهزة عد ذري تقتفي أثر المادة المشعة داخل مخ الحيوان وتعرف مسارها، وبالتالي مدى تأثير هذه المادة الكيميائية في خلايا المخ وطريقة تفاعلها داخله، وكذلك تستخدم المادة المشعة في التجارب الحيوانية لتقييم فاعلية الأدوية المستخدمة والمستحدثة في الأمراض المختلفة، وكذلك لاختبار مدى فاعلية أنواع التصوير الطبي المعروفة والمستخدمة في تشخيص ومتابعة مختلف الأمراض.

ومـــن التجارب المحلية المهمة اســتخدام المواد المشــعة في تحديد تفاصيل تأثير انســداد الحالب في الجهــاز البولي في وظيفة الكلى، وقــد أجريت تلك التجارب على الخــراف وأدت إلى معلومات جديدة ومهمــة، مما أدى إلــى حصول هــذا البحث على الميداليــة الذهبية فــي الأبحاث من الكونغرس الأوروبي للطــب النووي عام 1989، كما اكتشف أيضا الكثير في علم الوراثة من خلال مزج المواد المشعة بمواد كيميائيــة معينة يمكنها أن تتفاعل مع الخلايا الحية المكونة للجســم البشري، ولقد أدى ذلك إلى اكتشاف التركيب الخاص بالجين الوراثي المعروف بالــ «دي إن إيه» (DNA)، وكذلك تم التوصل من خلال هذا العلم إلى طريقة عملية دقيقة لتحليل نســبة الهرمونات والفيتامينات والفيروســات في الدم باستخدام النظائر المشــعة والمعروفة بطريقة المقايسة المناعية الإشعاعية.

استخدام الأشعة الذرية في الأبحاث الجيولوجية

تُــدرس في هذا المجال طبيعة وتكويــن الكرة الأرضية لمعرفة العناصر المكونة لصخورها، وكذلك تحديد العمر المطلق لها. وســوف نشرح عملية تحديد العمر المطلق للأرض كمثال لذلك، وفيها يتم عمل عد ذري لعنصر اليورانيوم - 238 المشع والذي يدخل في تكوين الصخور والرمال بنسب معروفــة. ومن خلال معرفة عمر النصف لليورانيوم - 238 المشــع يمكن عمل حســاب العمر الافتراضى لهذه الصخور حيث يساوى مقدار النقص الحادث في كمية اليورانيوم - 238 المشع نتيجة لاضمحلاله مضروبا في زمن عمــر النصف لليورانيوم - 238، وبهــذه الطريقة يمكن تقدير عمر الكرة الأرضية تقريبيا.

وهناك أيضا نوع آخر من الأبحاث الجيولوجية يُستخدم فيه كربون - 14 (C - 14)، وهو النظير المشــع لعنصــر كربون - 12 (C - 12)، ويبلغ زمن عمر النصف للكربون - 14 المشــع 5730 ســنة وهو في الجو بنسبة معينة نتيجــة لتفاعل نيترونات الأشــعة الكونية مــع النيتروجين - 14 (N - 14) الموجود في طبقات الجو العليا.

ويدخل الكربون المشـع في تكويـن ثاني أكسـيد الكربون الموجود في الهواء بالغلاف الجوي بنسـبة معينة. ونتيجة لاستنشـاق الكائنات الحية جميعا، بما فيها الإنسـان، للهواء فإن هذه الكائنات تحتوى على نسـبة معينة من الكربون - 14 المشع. وهذه النسبة تظل ثابتة مادامت الحياة تدب في هذا الكائن الحي، حيث يكون هناك توازن دائم بين ما يفقده من كربون - 14 نتيجة لاضمحلاله وبين ما يكسبه نتيجة لعملية الاستنشـاق، وذلك حتى تتوقف الحياة في هذا الكائن الحي، وعندها، تبدأ نسـبة الكربون - 14 في التناقص وفقـا لزمن عمر النصف (*) له. ولذا يمكن حسـاب زمن وفاة هذا الكائن الحي كأن نقول مثلا هذه الشجرة قطعت منذ 10000 عام أو إن هذه المومياء لشخص توفي منذ 20000 سنة، حيث يسـاوي مقدار النقص في الكربون - 14 مضروبا فـي زمن عمر النصف للكربون - 14، وهـذه الطريقة تعرف بالتأريخ بالكربـون - 14، وتسـتخدم في مجـالات متعددة كدراسـة وتحديد الأزمنـة للآثار والمومياوات والمعابد التاريخية. وعليه فالأحياء جميعها تحمل بين ذراتها وسيلة توقيت غاية في الدقة تبدأ في العمل بعد الموت مباشرة.

جديـر بالذكر أن هذا التحول الذاتي للكربون المشـع لا يتأثر بتغيرات درجة الحرارة والضغط، كإحدى خواص الإشعاع النووي والتي تختلف عن الخصائص الفيزيائية للمواد الأخرى كاللزوجة والمرونة والتوتر السـطحي التي تتأثر بالتغيير في درجات الحرارة والضغط.

استخدام الإشعاعات المؤينة في مجال التطبيقات الطبية

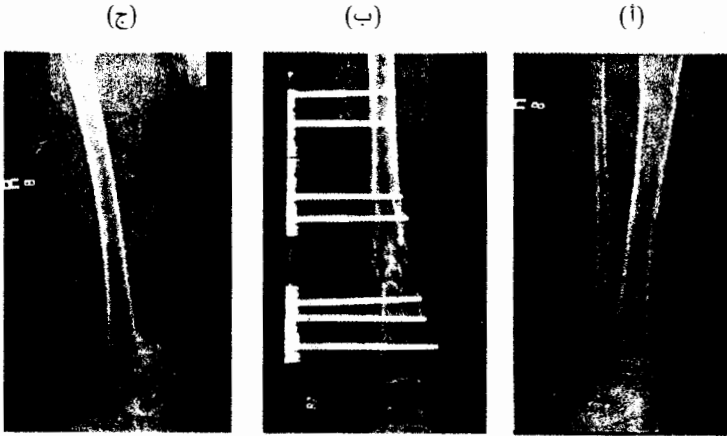
ينقسـم استخدام الإشعاعات المؤينة في مجال الطب إلى قسمين: الأول تشـخيصي بمعنى اسـتخدام الأشـعة الذرية في معرفة وجود مـرض معين وتحديـد مكانه باسـتخدام التصوير الطبـي، والثاني علاجي بمعنى أن تسـتخدم الأشعة النووية في علاج مرض معين أو وقف انتشاره.

(*) زمن عمر النصف: الزمن اللازم لاضمحلال النشاط الإشعاعي للنصف.

التشخيص بالتصوير الطبي

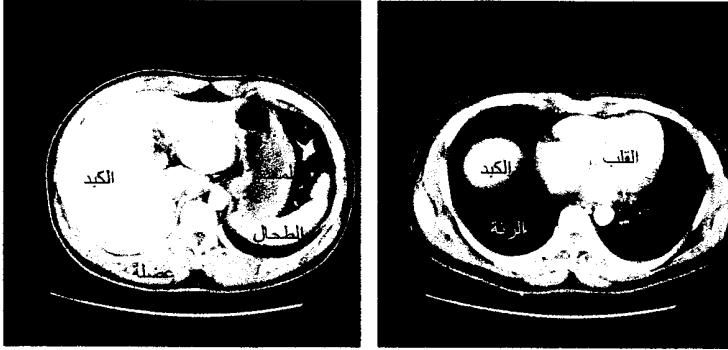
ويتم ذلك إما باستخدام الأشعة السينية التي تنتج من مدارات الذرة، كما ذكر سابقا، أو باستخدام النظائر المشعة التي تنتج من نواة الذرة والتي هي أساس ما يعرف بالطب النووي وسوف نشرح كل نوع على حدة:

1 - التشخيص بالأشعة السينية غير المقطعية

نظرا إلى مقدرة هذه الأشعة على اختراق المواد المختلفة ومنها جسم الإنسان والذي تختلف درجة امتصاص أعضائه المختلفة لهذه الأشعة بحسب نوع الأنسجة الحية المكون منها هذا العضو فإنها تستخدم لتشخيص حالة العضو المراد إجراء الكشف عليه، ومثال ذلك تستخدم للدلالة على وجود شرخ أو كسر في العظام، حيث إن العظام لها كثافة عالية، وبالتالي فإن قدرتها على امتصاص الأشعة السينية عالية وهي بذلك تعطي صورة تشريحية واضحة ودقيقة لحالة العظام مثل وجود شرخ أو كسر أو ورم خبيث أو التهاب.

صور أشعة سينية الأولى (أ) لعظام الرجل من دون وجود أي كسور أو أورام، والثانية (ب) تصور كسرا مضاعفا، والثالثة (جـ) لورم خبيث

كما أنها تستخدم أيضا للكشف عن وجود قرح في الجهاز الهضمي، ولكن في هذه الحالة يلزم إعطاء المريض جرعة من مادة سائلة عالية الكثافة مثل الباريوم مما يسهل رؤية حدود أعضاء الجهاز الهضمي وتحديد مدى إصابتها بالقرح أو الأورام حيث إن أنسجة الجهاز الهضمي ذات كثافة منخفضة تقارب كثافة الماء. وكذلك يمكن استخدام الأشعة السينية لتحديد وجود انتفاخات بالأمعاء أو لتحديد وجود مواد معدنية داخل الجسم كأن يبتلع صبي مثلا قطعة نقود معدنية، أو تحديد مكان رصاصة أصابت شخصا ما في ساقه أو ذراعه مثلا. كما تستخدم الأشعة السينية في الكشف عن وجود خشونة في الغضاريف والتهابات الجيوب الأنفية وتحديد كثافة العظام، وهو ما يفيد المصابين بمرض هشاشة العظام.

2 - التشخيص بالأشعة السينية المقطعية

وتستخدم في هذه الطريقة أجهزة تعمل على الحصول على صور متعددة لمقاطع الجسم وتعرف باسم الأشعة المقطعية. والاختلاف في تقنية الجهاز المستخدم هنا أنه يتم عمل تصوير مقطعي للعضو المراد فحصه بواسطة تدوير الجهاز حول المريض بدرجات دوران معينة كل 5 درجات دورة مثلا، ثم يتم التصوير على هيئة شريحة مقطعية وهكذا، وفائدة هذه التقنية هي الحصول على صور أكثر دقة ووضوحا خاصة للكشف عن الأورام، ويتم تجميع هذه الصور الملتقطة بواسطة الكمبيوتر ثم يحولها إلى شاشة عرض تمكن الطبيب من رؤية التفاصيل المطلوبة في الفحص وبذلك يسهل تشخيص المرض وتحديد مكانه بدقة حتى يتسنى للطبيب المعالج أخذ القرار بدقة.

مثال للأشعة السينية المقطعية التي تظهر الأعضاء المختلفة للجسم بوضوح

3 - التشخيص بالطب النووي

الطب النووي هو العلم الذي يبحث في تفاعل ذرات وعناصر ونكلوتيدات المواد المشعة مع المادة الحية وإمكانية استخدام هذا التفاعل بينهما إما لأغراض التشخيص وإما لأغراض المعالجة. وهو علم جديد وحديث له فوائد عظيمة من حيث الكشف المبكر عن الأورام والتي تشكل حوالي 40% من هذا العلم. والكشف عن الأمراض الأخرى ووظائف أعضاء الجسم البشري والتي تشكل نسبتها 60% من هذا الفرع الحديث للطب.

ويعتمد التشخيص بالطب النووي أساسا على التصوير الطبي الذي يستخدم النظائر المشعة الصادرة من نواة الذرة، ويختلف عن التصوير بالأشعة السينية التي تنبعث من الأجهزة وتسقط على المريض وتلتقط من الجهة المقابلة لتكوين الصور. أما التصوير في الطب النووي فيعطى فيه المريض هذه المواد المشعة، إما عن طريق الفم وإما عن طريق الحقن الوريدي وطرق أخرى. وهذه المواد المشعة يتم ربطها بمواد كيميائية مختلفة وفق نوع العضو المراد فحصه، وعند عمل فحوص المرضى تُحضّر المادة المشعة المراد استخدامها لكل مريض وفق نوع الفحص، وفي معظم الفحوص تدمج المادة المشعة مع المادة الكيميائية التي تعمل كحامل للمادة المشعة إلى العضو المراد فحصه.

ويستخدم لتصوير المريض جهاز يسمى بالغاما كاميرا وأجهزة تصوير أخرى، وتقوم تلك الأجهزة بالتقاط الإشعاعات الصادرة من المريض ليتم تكويـن الصور، ويمكن التقاط عدد من الصور حتى الآلاف منها من دون تعرض المريض لجرعات إشعاعية أخرى، عكس طريقة استخدام الأشعة السـينية، وعند التقاط أشـعة غاما الصادرة من المادة المشـعة المعطاة للمريـض يمكن بوضوح تتبع توزيعها وحركتها داخل العضو المراد فحصه مما يسـهل تقييم وظيفة العضو، حيث إن الأماكن التي يقل أو يزيد فيها توزيع المادة المشـعة داخل العضو قد يكون بها خلل مرضي، إما بسـبب وجـود ورم معين بها، وإما بسـبب مرض آخر، وكذلك خط سـير المواد المشـعة وحركتها داخل العضو يمكن أن يحدد وجود انسداد أو ضيق في الدورة الدموية في مناطق معينة كشـريان القلب، على سبيل المثال. وبعد الانتهاء من التصوير، يتم تجميع النتائج وتحليلها بواسطة جهاز كمبيوتر ثم تعرض على شاشـة عـرض، وهناك طريقتان لعمـل هذه الفحوص، وهما: طريقة الفحص الساكن حيث يعطى المريض المادة المشعة ثم ينتظر لفترة زمنية محددة يتم خلالها امتصاص المادة المشعة بدرجة كافية داخل العضو المراد فحصه، ثم يوضع المريض على جهاز الغاما كاميرا للفحص، والطريقة الثانية تسـمى بالفحص المتحرك أو الديناميكي، حيث يوضع المريض على جهاز الجاما كاميرا بعد إعطائه المادة المشعة مباشرة، ويتم تصوير المادة المشـعة وتتبع خط سـيرها ومعدل سريانها وتدفقها داخل العضو المراد فحصه.

وجهاز الغاما كاميرا هو الجهاز الأساسـي في التشـخيص بالطب النـووي، وآلية عمل هذا الجهاز هي التقاط أشـعة غاما التي تحدثنا عنها، وهي أشـعة صادرة عن جسم المريض، وذلك بعد حقنه بالنظير المشـع أو تناول المريض النظير المشـع بالفم المناسب للحالة الدراسية التي سـتجرى لها، ومـن ثم أخذ هذه الأشـعة وتحويلهـا إلى نبضة كهربائية وتضخيمها عبر حواسـيب معقدة لتوضح لنا كيفية توزع تلك المادة المشـعة في جسـم المريض والذي نعبر به عن عمل فسـيولوجي للخلية الحية.

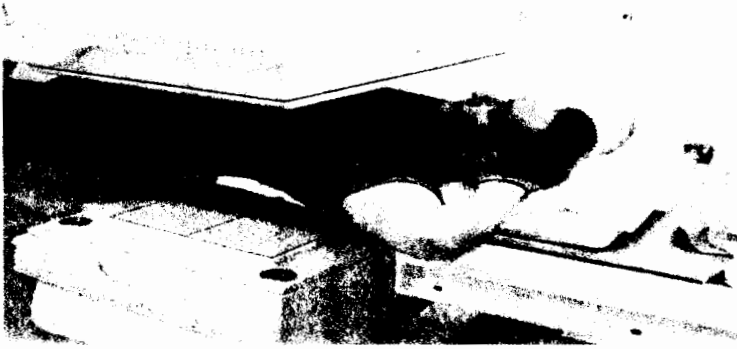
أهمية دور الطب النووي في تشخيص المرض

1 - التشخيص المبكر للمرض.

2 - تحديد نسبة الخلل الوظيفي للعضو المصاب.

3 - قلة كمية الإشعاع التي يتعرض لها المريض أثناء وبعد الفحص.

4 - القدرة على متابعة تطور الحالة المرضية بدقة.

5 - تحديد مدى فاعلية وتأثير العقاقير الطبية في علاج الأمراض مبكرا.

فحص المرضى بواسطة جهاز الغاما كاميرا في مجال الطب النووي

الطب النووي	
التشخيص	**العلاج**
أمراض القلب	أمراض الغدة الدرقية
أمراض العظام	علاج أمراض الدم
الأورام	آلام العظام الناتجة عن ثانويات الأورام
أمراض الكلى	
أمراض الجهاز الهضمي	
أمراض الدم	
أمراض الرئة	
أمراض أخرى	

استخدامات الطب النووي في مجالات التشخيص والعلاج

وبالإضافة إلى دور الطب النووي في تشخيص ومتابعة الأورام السرطانية، فيساعد الطب النووي في اكتشاف كم كبير من الأمراض غير السرطانية، مثل المشكلات التي تصيب الجهاز العظمي كتسوس العظام والكسور، الكلى وانسدادها، الالتهابات الداخلية، ارتداد البول عند الأطفال، الغدد الصماء وأهمها الغدة الدرقية.

بالإضافة إلى ذلك، يبرز تقدم الطب النووي في تشخيص أمراض القلب، خاصة أن تقنيات التشخيص تظهر نوعا من التنبؤات لمسار القلب في المستقبل، وإنذارا بالمشكلات التي ستصيبه، وبالمثل عددا من الأمراض التي يصعب اكتشافها في الفحوص الإكلينيكية والمعملية والتصويرية الأخرى. وفيما يلي عرض لبعض الفحوص التشخيصية الشائعة للطب النووي:

- تشخيص الأورام وانتشارها بالعظام والمخ والكبد والرئة والأعضاء الأخرى.
- تشخيص أورام الغدد الدرقية والجار درقية والكظرية.
- قياس وظائف الغدد وإفراز الهرمونات حال زيادة الإفراز.
- تشخيص القصور بالدورة التاجية فى أمراض القلب وتشخيص جلطات القلب من دون قسطرة.
- الكشف عن مكان نزيف بالأمعاء ما قبل الجراحة.
- التشخيص الدقيق للالتهابات النكروزية للعظام.
- التشخيص الدقيق، ومتابعة أورام الغدد الليمفاوية.

وقد ذكرنا من قبل أن جهاز الغاما التصويري يستخدم في التصوير الطبي باستخدام المواد المشعة في معظم الحالات التي تُفحص باستخدام الطب النووي في التشخيص، وفي السنوات الأخيرة ظهرت أنواع حديثة من كاميرات التصوير الطبي التي تعتمد، إضافة إلى المتغيرات الفسيولوجية، على المتغيرات الأيضية والجزئية.

وقد أُضيفت الأشعة المقطعية إلى جهاز التصوير البوزيتروني في جهاز البوزيترون المدمج مع الأشعة المقطعية (PET/CT).

وصُنّع أيضا حديثا جهاز البوزيترون المدمج مع الرنين المغنطيسي (PET/MRI) للتحديد الدقيق للمتغيرات بالتصوير البوزيتروني من دون الحاجة إلى تعريض المريض لجرعات إشعاعية إضافية عند استخدام الأشعة المقطعية، وتُجرب حاليا هذه التكنولوجيا قبل أن تكون متوافرة تجاريا.

(3 - 1) المسح الإشعاعي للغدة الدرقية وقياس نشاطها

تتميز الغدة الدرقية بخاصية التقاط مادة اليود الذي يستخدم طبيعيا في تكوين الهرمونات التي تفرزها الغدة، ولهذا يستعمل اليود المشع (يود - 131 ويود - 123) في قياس نشاط الغدة، حيث يأخذ المريض جرعة اليود المشع عن طريق الفم وبعد 24 ساعة تحسب له بطريقة معينة النسبة المئوية لالتقاط الغدة لليود باستخدام جهاز عد نشاط الغدة، ويستخدم اليود - 123 والتكنيزيوم الحر في تصوير الغدة، وفي حالة اليد يتناول المريض الجرعة المشعة بالفم وتُصور الرقبة بعد 4 ساعات و24 ساعة، أما في حالة التكنيزيوم فيعطى للمريض عن طريق الحقن الوريدي ثم يتم التصوير بعد 15 دقيقة بواسطة الغاما كاميرا، ويبين هذا التصوير حجم الغدة وشكلها وتوزيع المادة المشعة فيها واكتشاف أي أورام أو سرطانات بها، ومعرفة ما إذا كان نشاط الغدة طبيعيا أو فيه زيادة أو نقص، وكذلك اكتشاف وجود التهابات الغدة الدرقية الحادة والمزمنة والعقد (Nodules) التي قد تحتوي على أورام.

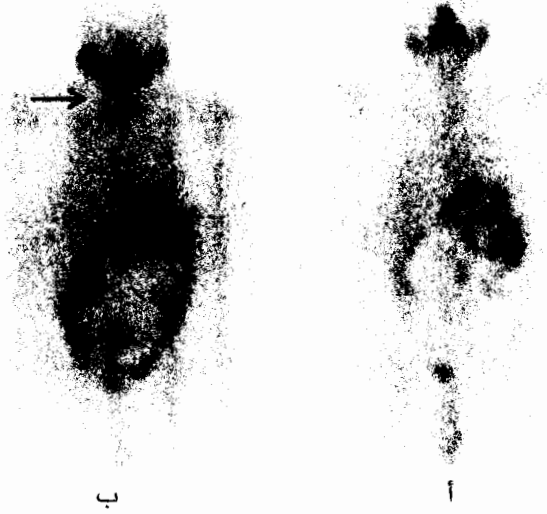
صورة لغدة درقية طبيعية (أ) وأخرى (ب) توضح وجود عقدة

ويستخدم المَسح الإشعاعي للغدة الدرقية ونشاطها في الحالات التالية:
- معرفة حجم الغدة.
- اكتشاف حالات تضخم الغدة الدرقية البسيطة والفسيولوجية.
- حالات سرطان الغدة.
- حالات تضخم الغدة العنقودي والحويصلي.
- حالات نشاط الغدة الدرقية وتضخم الغدة التسممي.
- حالات نقص وكسل الغدة الدرقية.
- تحديد المكان لوجود أنسجة غدية في غير مكانها الطبيعي.
- تقييم وتحديد التهابات الغدة الدرقية الحادة والمزمنة.
- وضع الغدة الدرقية بعد عمليات الاستئصال.

وتبرز أهمية هذا المسح لأن أمراض الغدة الدرقية شائعة ويُعالج معظمها تماما خاصة إذا شُخصت مبكرا.

مسح الجسم الكامل لأورام الغدة الدرقية

في حالة تشخيص سرطان بالغدة الدرقية وبعد إجراء الجراحة التي هي العلاج الرئيسي لهذا الورم يجري تصوير المريض باستخدام اليود المشع بعد نحو 6 أسابيع من الجراحة لمعرفة ما إذا كانت هناك أورام متبقية في الرقبة أو في أماكن أخرى، ويتم هذا التصوير باستخدام اليود - 131 المشع، الذي يعطى بالفم للمريض، ثم يتم تصويره على مدى ثلاثة أيام، وتحدد نتيجة الفحص سواء كان المريض في حاجة إلى إزالة جزء متبق من الغدة بالجراحة أو لا، ثم كمية اليود المشع العلاجي اللازم للمريض.

صورة باستخدام اليود المشع (أ) لمريضة بعد إزالة الغدة الدرقية التي تحتوي على سرطان، وتوضح عدم وجود بقايا للورم، أما الصورة الثانية (ب) فتوضح وجود بقايا للغدة أو الورم بالرقبة والتي تحتاج إلى العلاج باليود المشع.

تصوير الغدة الدرقية باستخدام اليود - 131 المشع

مسح الغدة الجاردرقية Parathyroid

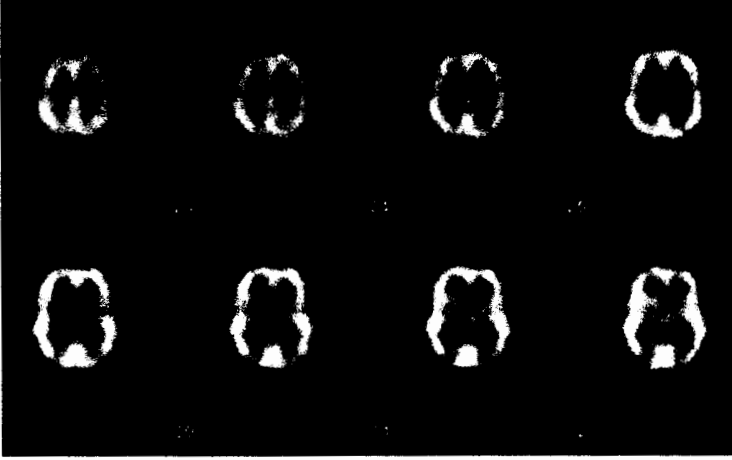
يؤدي الطب النووي دورا مهما للمرضى الذين يعانون أوراما، غالبا حميدة، تسبب خللا في إفراز الهرمونات الصادرة من الغدة الجاردرقية، وعلاج هذه الحالة هو الجراحة لإزالة تلك الأورام التي هي السبب في الإفراز المفرط لهرمون الغدة الجاردرقية (parathyroid hormone) الذي يؤثر في العظام أساسا ويؤدي إلى آلام في العظام والعضلات، ونظرا إلى أن تلك الأورام صغيرة وتقع في أماكن مختلفة في الرقبة حول الغدة الدرقية فإن تحديد مكان الورم يساعد كثيرا الجراح على أن يجد مكان الغدة التي بها الورم بطريقة أسهل وأسرع مما يضمن استئصاله وعدم التسبب في إحداث تمزق بأنسجة الرقبة، وهذا ما يحققه مسح الطب النووي باستخدام مادة التكنزيوم المشع كما هو موضح بالصورة التالية التي تظهر مكان الورم الذي يشير إليه السهم.

مسح الغدة الدرقية باستخدام التكنزيوم المشع

3 - 2 - المسح الإشعاعي للمخ

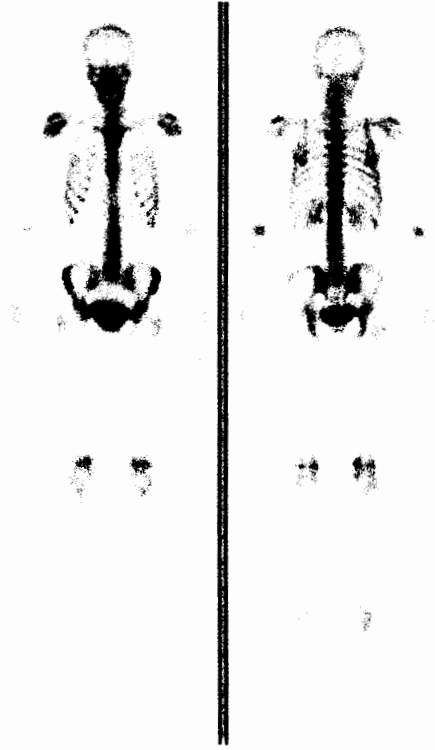
فـي هذا الفحص يعطى المريض مادة التكنزيوم (Tc-99m) ممزوجة بمـادة كيميائية تتركز في خلايا المخ وذلك عن طريق الحقن بالوريد، ثم يوضع المريض على جهاز الغاما كاميرا للكشف عن وجود أورام سرطانية أو حميدة، أو وجود تجمع دموي أو أمراض الأوعية الدموية وجلطة المخ، أو وجود التهاب في المخ.

تجدر الإشـارة إلى أن هذا الفحص له استخدامات محدودة مقارنة بالتصوير بالرنين المغناطيسـي أو الأشـعة المقطعيـة، لكن تكمن قيمته في تشـخيص بعض الحالات التي لا تسـتطيع تلك الأنواع من التصوير تشخيصها، وهنا لا بد من ذكر استخدام هذا الفحص النووي في تأكيد المـوت الدماغي، ويسـتخدم هذا فـي معظم دول العالـم لإعلان موت المريض، وكذلك الاستفادة من أعضائه في عمليات زرع الأعضاء إذا كان المريض قد وافق سلفا أو وافق أهله على التبرع.

وينبغي التفرقة بين الموت الدماغي - وهو حالة لا يمكن للمريض أن يعود منها لتسـتمر الحياة - والغيبوبة التي يكون فيها المخ حيا لكنه في حالة ثبات وقد يعود منها المريض وتستمر الحياة.

المسح الإشعاعي للمخ

(3 - 3) المسح الإشعاعي للعظام

حيث يتم حقن المريض عن طريق الوريد بمادة التكنزيوم مضافة إليها مادة فوسفورية لتتركز في العظام، والمسح الذري على العظام يتميز بحساسية فائقة لتشخيص التغيرات التي تحدث للعظام نتيجة الالتهابات والأورام والكسور والأمراض الأيضية.

وقد عرف لسنوات بمقدرته على اكتشاف ثانويات الأورام المترسبة في العظام، لكن بعد ذلك اتسعت دائرة التطبيقات الخاصة بالمسح الإشعاعي للعظام لتشمل كثيرا من الأمراض عند تشخيصها، ويتم من خلال هذا الفحص استكشاف وجود أورام حميدة أو خبيثة في العظام مع تحديد مكانها، كما يتم الكشف عن وجود التهاب في العظام أو المفاصل والكشف عن بعض الكسور التي يصعب تشخيصها بواسطة الأشعة السينية لكسور اليدين والقدمين على سبيل المثال.

مسح إشعاعي طبيعي للعظام

رسم توضيحي لتقرح يحدث في أقدام مرضى السكر
وقد يؤدي إلى التهابات في العظام المجاورة

تشخيص التهابات العظام

الأمراض التي تنتج من الميكروبات معروفة منذ آلاف السنين، وقد مضت فيما تركه قدماء المصريين على الجدران منذ أكثر من ثلاثة آلاف عام. وهذه الأمراض مازالت تشكل مشكلة تشخيصية وعلاجية حتى الآن. وأمراض العظام الناتجة من العدوى بالميكروبات توجد في جميع الدول، ولكنها تنتشر أكثر في الدول النامية وقد تسبب مضاعفات مستديمة إذا لم تعالج مبكرا.

وللطب النووي دور مهم جدا في التشخيص المبكر والدقيق لالتهابات العظام التي تحدث أكثر في الأطفال، وكذلك تلك التي تحدث عقب الكسور أو العمليات الجراحية في العظام، وكذلك في مرضى السكري الذين كثيرا ما يعانون تقرحات على سطح القدمين تؤدي إلى التهابات في العظام المجاورة والتي تقف وراء نحو 60% من حالات البتر في القدم بين مرضى السكر.

ويعتمد تشخيص تلك الحالات على المسح الذري على العظام وهو يكفي للتشخيص إذا كانت تلك المنطقة في العظام لم تتأثر بمرض سابق كالكسور أو الالتهابات.

أما في الحالات المعقدة التي يكون فيها العظم متأثرا بأمراض سابقة، وكذلك في قدم مرضى السكر، فإنه لا بد من إضافة فحوص أخرى كالتصوير باستخدام كريات الدم البيضاء المرقمة بمادة مشعة كمادة الإنديوم - 111 أو التكنيزيوم، حيث إن كرات الدم البيضاء تتجمع بكثرة في مكان وجود الميكروبات والتغيرات المرتبطة بالالتهاب الموضعي في العظام، أو بإضافة الغاليوم 67 في بعض الحالات كالالتهابات المزمنة.

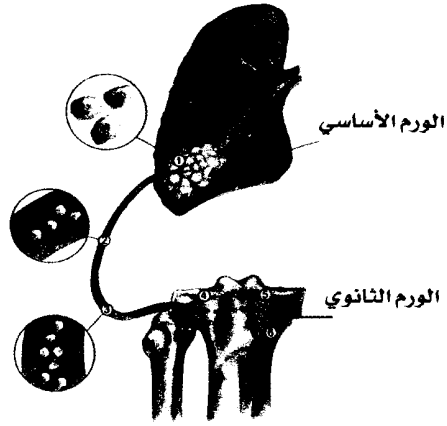
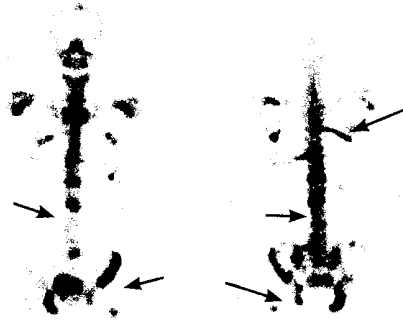
تشخيص ثانويات الأورام في العظام

تنتشر بعض الأورام وفقا لمرحلتها موضعيا أو في أماكن بعيدة من الورم الأصلي، وهذه الحالة تسمى ثانويات، وتحدث هذه الثانويات نتيجة انفصال بعض الخلايا السرطانية عن الورم الأساسي سواء الورم في

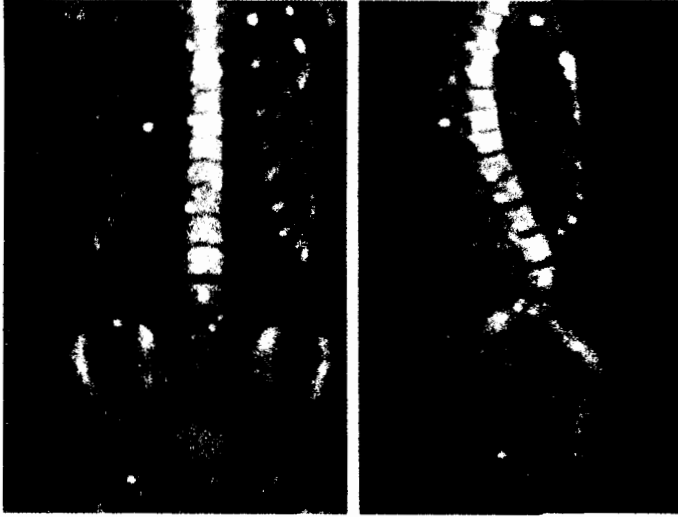
الرئة أو البروستاتا أوالثدي وغيرها، وتصل إلى الدم أو السائل الليمفاوي وتحمــل عن طريق الأوعية الدمويــة أو الليمفاوية لأماكن بعيدة عن الموقع الأصلي للورم.

صورة لمســح إشعاعي للعظام تظهر أرجل المريض وبها زيادة كمية الدم الواصل لجــزء معين من عظمة الرجل كما هــو واضح بالصورتين «أ» و «ب» (أســهم رفيعة) والتي تمثــل وصول الدم إلى النســيج وتوزيعه بالأنسجة، وهو تصوير مبكر بعد الحقن، أما الصورة الأخيرة (ج) فهي الصورة التي تلتقط بعد ساعتين أو ثلاث بعد الحقن وفقا لعمر المريض، والصورة تظهر زيادة في تجمع المادة المشعة في جزء من عظمة الرجل اليسرى وتمثل بؤرة التهاب حاد نتيجة ميكروبات (سهم عريض).

وإذا اســتطاعت تلك الخلايا أن تظل حية فقد تصل إلى النخاع العظمي ضمن أماكن أخرى عديدة كالرئة والغدد الليمفاوية أو المخ على ســبيل المثال. وعند وصولها إلى تلك الأماكن فقد تستقر، وإذا وجد مصدر للدم فإنها تتكاثر وتكون ورما مماثلا عادة في الخصائص للورم الأصلي في المكان الجديد.

وعند تشــخيص الأورام فإن تحديد ما إذا كانت هناك ثانويات مصاحبة مهم جدا حيث يســاعد الطبيب المعالج على تحديد أنســب علاج أولي للورم الرئيســي أو التدخل لعــلاج تلك الثانويــات ومحاولة تخفيــف آثارها على المريض، والمثال الواضح هو عند الكشف عن ورم خبيث في الرئة، فإن العلاج الجراحي هو أساس العلاج لهذا الورم بشرط ألا تكون هناك ثانويات.

كيفية تكون الأورام الثانوية ومسار الخلايا التي تكونها

المظهر المعتاد لثانويات العظام بالفحص الذري للهيكل العظمي
وتشير الأسهم إلى بعض الثانويات السرطانية

وتظهر الثانويات في المسح الإشعاعي باستخدام الفوسفات عادة كبؤر نشاط إشعاعي عال.

وفي حالة اســتخدام التصوير البوزيتروني باســتخدام مادة مشــابهة للغلوكوز فإنها أيضا تظهر تركيزا أعلى في مناطق الثانويات نتيجة أن تلك الثانويات بما تحوي من خلايا ســرطانية تستهلك كمية أكبر من الغلوكوز مما يعني تركيزا أكبر لشبيه السكر المشع المستخدم.

مسح على العظام باستخدام التصوير البوزيتروني الحديث
الذي يعطي جودة عالية للصور

ولا يســتخدم الطب النووي في اكتشــاف تلــك الثانويات فقط بل في متابعة المريض للكشف عن ثانويات العظام التي قد تحدث بعد التشخيص للورم الأصلي بمدة قد تصل إلى ســنوات، وهنا يتم عمل مسح ذري دوري في بعض الأورام لهذا الغرض كأورام الثدي.

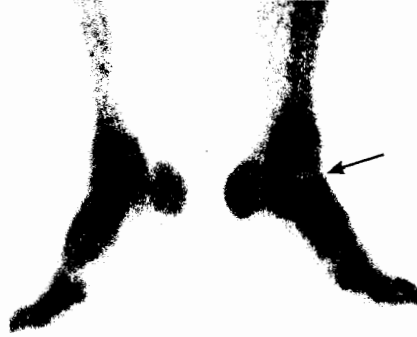
وكذلك تســتخدم تلك الفحوص في تقييم مدى تأثير العلاج الكيماوي أو غيــره في الثانويــات وكذلك تحديد مدى خطورة الحالة بالنســبة إلى المريض في المستقبل.

تشخيص كسور العظام الصغيرة والمرتبطة بالرياضة

تشــخيص الكسور يعتمد على الأشــعة العادية، وهي كافية في معظم الكســور فيما عدا بعض الكســور في العظام الصغيرة باليدين والقدمين، وكذلك الكسور الناتجة من المجهود العضلي الزائد المتكرر كما يحدث عند العدائين ولاعبي كــرة القدم والرياضات الأخرى، وكذلك كســور مرضى هشاشــة العظام وصورة الكسور التي لا يمكن تشخيص كثير منها بالأشعة العادية إلا متأخرا، وعليه فإن المســح الذي يجري على العظام فحص مهم لتلك الكســور التي تحتاج عند تشخيصها مبكرا فقط لوقف الرياضة في تلــك الحالة لمدة عدة أســابيع حتى تلتئم، وأيضا يمنع التشــخيص المبكر تطورها الذي يؤدي إلى كسر كامل ومضاعفات.

مسح ذري للعظم يظهر كسرا في إحدى عظام القدم لم ير بالأشعة العادية

تشخيص القصور الدموي في العظام

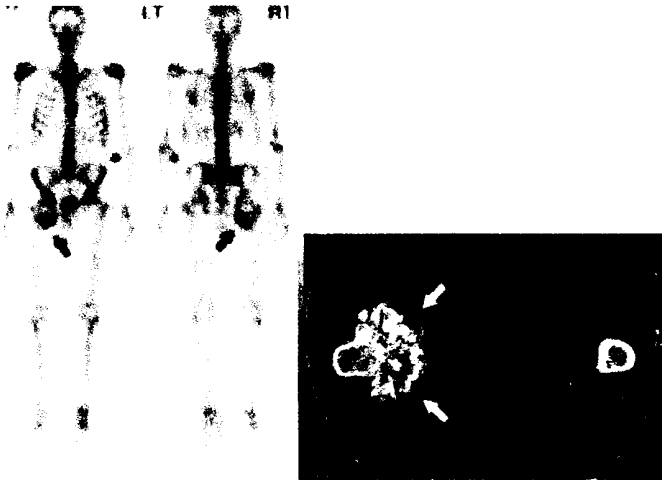
لأســباب كثيرة قد يحدث أن يقل أو ينقطع تدفق الدم خلال شريان مــا لتغذيــة إحدى العظام أو جــزء من عظمة، وفي هــذه الحالة تتأثر الخلايا، ممــا قد يؤدي إلى موتها، وفي هذه الحالة فإن المســح الذري على العظام يســاعد في تشخيص تلك الحالة ومتابعتها وتظهر المنطقة المتأثرة بنقص الدم بانعدام وجود أو نقصان المادة المشعة، وفي كثير من تلك الحالات عادة يتم الالتئــام فيما بعد عن طريق تكوين أوعية دموية صغيرة جديدة بواسطة الجسم أو تكوين ممر يتخلل الانسداد، وفي كلتا الحالتين تتجمع خلايا خاصة تقوم بإعادة تكوين النســيج العظمي بدءا من أطراف المنطقة المتأثرة في اتجاه المركز تدريجيا، وفي بعض الحالات لا يحدث هذا مما يســبب مضاعفات وتظهر عندها الحاجة إلى تدخل جراحي للعلاج.

صورة توضح منطقة تأثرت بتصوير دموي وواضح عدم تركيز المادة المشعة بها (سهم)

تشخيص تكلس الأنسجة الرخوة خارج العظام

لعدة أســباب معروفة كالحوادث والكســور وبعــد الجراحات وأحيانا لأســباب غيــر معروفة يتكون العظم خــارج الهيكل العظمــي في منطقة العضلات والألياف التي تتخللها أو تقع بينها، والاعتقاد السائد أنه لأسباب مختلفــة تتحول بعض الخلايا في تلك الأنســجة غير العظمية إلى خلايا

تنتج النسيج العظمي مما يؤدي إلى تكوين عظام تدريجي في تلك الأنسجة الرخوة التي لا تحتوي طبيعيا على عظام وتسمى تلك الحالة تكوين العظام الهتروتوبي (Heterotypic bone formation).

وقد لا تسـبب هذه الحالة أي أعراض، وفي حالات أخرى تسبب آلاما وإعاقـة للحركة، وتحدث تلك الحالة في نسـبة عالية من المرضى الذين يخضعون لجراحة تغيير مفصل الحوض بالذات ويتكون النسـيج العظمي الجديد بجوار مكان الجراحة.

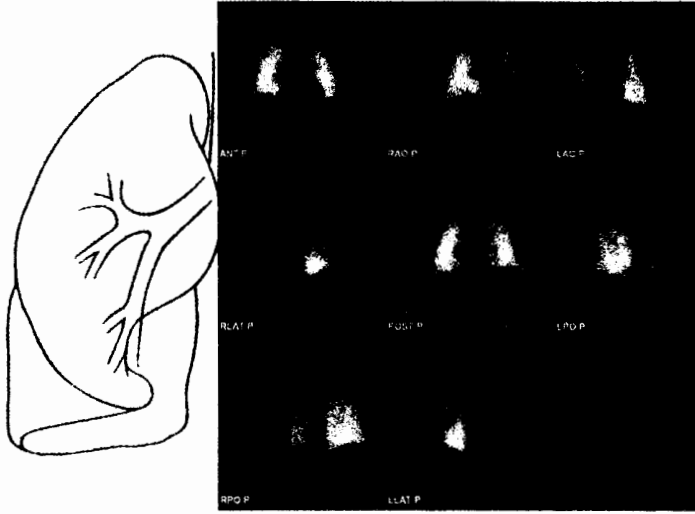
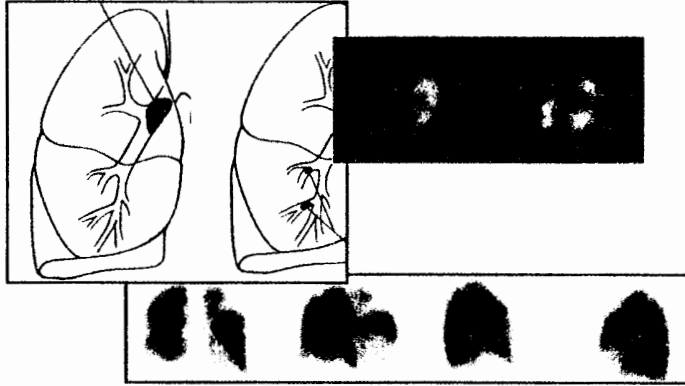
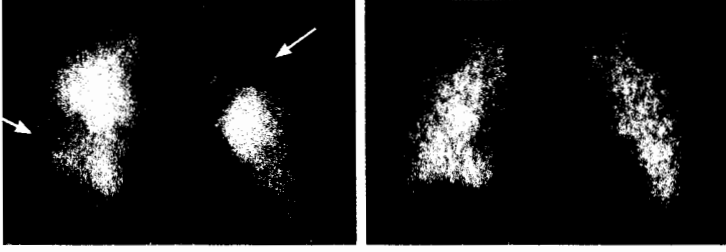
ويفيد المسح الذري على العظام في تشخيص تلك الحالة التي قد تشبه في أعراضها الالتهابات والأورام، ويسـاعد المسح الذري الدوري على تحديد نضج هذا النسـيج ، حيث إن هذا التحديد مهم لتحديـد متى يتم التدخل الجراحي لاسـتئصال هذا النسـيج، حيث إنه لو تم التدخل الجراحي قبل أن ينضج هذا النسيج فقد يؤدي هذا إلى إعادة تكوينه وبطريقة أكثر حدة من الحالة الأصلية، والفارق بين اسـتخدام المسح الذري والأشـعة العادية أن المسح الذري يستطيع إظهـار الحالة قبل التمكن من رؤيتها بالأشـعة، علاوة على عدم قدرة الأشـعة العادية على تحديد نضج هذا النسيج بمقارنة بالمسح الذري.

صورة لمريض يعاني تكون العظام بالأنسجة الرخوة (أسهم)

(3 - 4) المسح الإشعاعي للرئتين

بجانــب دور الطب النووي في تحديد مرحلة ومتابعة أورام الرئة، فإنه يســتخدم تشــخيص جلطات الشــريان الرئوي، وهي حالة قد تؤدي إلى الوفاة، وتــزداد احتمالات حدوث هذه الحالة عقــب الجراحات والولادة، وكذلك بعد مكوث المرضى في السرير مدة طويلة، وأيضا بعد الطيران لمدة طويلة من دون تحرك خلال الطيران وعدة أسباب أخرى.

وفي السواد الأعظم من تلك الحالات تتكون جلطة أو جلطات في أوردة الأطراف الســفلى أو أوردة الحوض، ثــم تنفصل أجزاء من تلك الجلطات وتحمل بواســطة الدم، إلى أن تصل إلى الرئة، حيث قد تســبب انســداد واحــد أو أكثر من فروع الشــرايين الرئوية المغذية للرئتين؛ ما قد يســبب عدم وصول الدم للجزء الذي يغذيه الشــريان أو الشــرايين المسندة، وتلك الحالات تتطلب التشــخيص الســريع، وتعتبر حالة طارئــة حيث تتطلب التدخل الســريع في حال تشــخيصها لإنقاذ حياة المريض، وعلى الأطباء التفكير دائما فيها وطلب فحوص للتأكد من وجودها من عدمه، وأحد تلك الفحوص يكون باستخدام الطب النووي بإجراء مسح على الرئة باستخدام مادة التكنيزيوم محمولة بجزيئات بروتينية تصل بعد الحقن إلى الشرايين الرئوية وتقف في الشــعيرات الدموية الصغيرة جدا، لتمكننا من دراســة وصول الدم للأجزاء المختلفة من الرئة.

وعند وجود انسداد في أحد الشرايين يظهر الجزء الذي يغذى بالشريان المنسد كجزء ليس فيه نشاط إشعاعي (الصورتان التاليتان)، وعادة يُجرى فحــص آخر قبل أو بعد المســح الذي يظهر وصول الــدم إلى أجزاء الرئة لدراسة التهوية لتلك الأجزاء، ما يساعد الطبيب على التشخيص.

ويتم هذا الفحص بحقن المريض عن طريق الوريد بمادة التكنيزيوم مضافــة إليها جزيئــات بروتينية ضئيلة الحجم، وهــي التي تتمكن من تقدير تدفق الدم إلــى الأجزاء المختلفة من الرئتين، أما فحص التهوية فيتم إعطاء المريض مادة أخرى عن طريق الاستنشــاق بالأنف، لتحديد توزيــع تهويــة النفــس في الرئتين وذلك للكشــف عــن وجود جلطة بالشرايين الرئوية.

صورة من فحص التروية للرئتين، ولا يوجد به أي تغيرات غير طبيعية ما يشير إلى عدم وجود أي انسداد نتيجة جلطات بالشرايين

صورة من فحص التروية للرئتين توجد به مناطق ينعدم فيها وجود المادة المشعة ما يشير إلى وجود انسداد نتيجة جلطات بالشرايين

المسح الإشعاعي للرئتين: الصورة اليمنى تمثل رئتين طبيعيتين،
أما الصورة اليسرى فتظهر نقصا في إمداد الدم لبعض
أجزاء الرئتين (أسهم) نتيجة جلطات في الشرايين الرئوية.

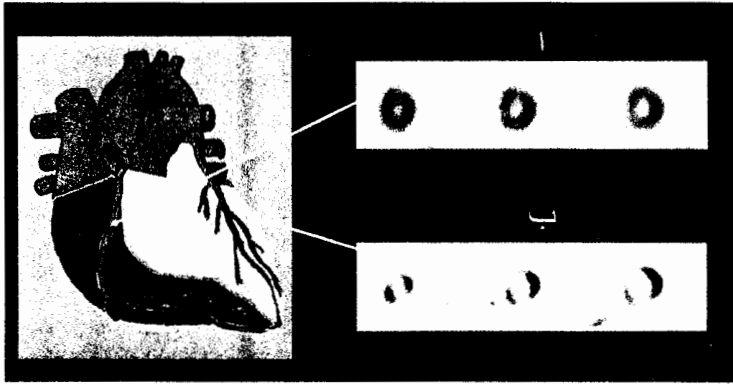
(3 - 5) المسح الإشعاعي للقلب والأوعية الدموية

أمراض الشرايين المغذية للقلب تعتبر من الأمراض المنتشرة، كما تعتبر من المشكلات المهمة في مختلف المجتمعات، نظرا إلى أنها تسبب الوفاة، علاوة على ما تتطلبه من تكاليف باهظة في التشخيص والعلاج والمتابعة.

وتنتج هذه الأمراض من ضيق ثم انسداد بعض الشرايين الرئيسية أو الفرعية، حيث تغذي عضلة القلب عدة شرايين كما هو مبين في الصورة أدناه.

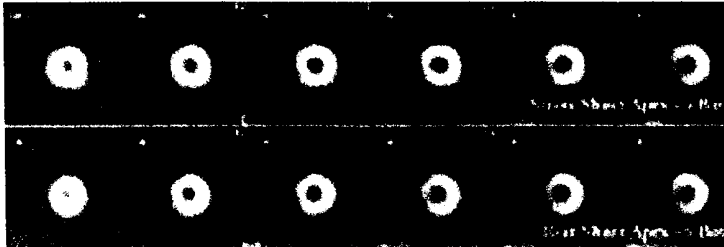
رسم توضيحي للقلب يبين الشرايين المغذية لعضلته (أسهم)

ويسبب الضيق عادة تكون تجمعات دهون في جدار الشريان التي تزداد وتتكلس وتؤدي إلى ضيق أو انسداد للشريان الذي تأثر.

وعندما يزيد المريض المجهود يعمل القلب بسرعة أكبر وتزيد انقباضات عضلته، مما يستدعي كمية أكبر من الدم والأكسيجين وتتسع الشرايين التي لا يوجد فيها ضيق أو انسداد لمواجهة الحاجة الدائمة، أما الشرايين التي بها مناطق ضيقة فلا تتسع، ما ينتج عنه نقص نسبي في إمداد الأكسيجين لمنطقة العضلة التي يغذيها الشريان المريض، وعليه فإن تلك المنطقة من العضلة يحدث فيها قصور يؤدي إلى الأعراض المعروفة كالألم وضيق التنفس أو العرق الزائد ...الخ. وعند حقن المادة المشعة التي تصل إلى القلب عن طريق الدم في أثناء المجهود الزائد تتركز المادة في المناطق التي يصلها الدم بكمية طبيعية، أما المنطقة التي تعاني القصور فتتركز فيها المادة بكمية أقل تتناسب مع حدة الضيق.

رسم توضيحي مع صور من المسح الإشعاعي للقلب تظهر المظهر الطبيعي لعضلة القلب (أ) التي يغذيها شريان طبيعي مفتوح وأخرى تظهر مناطق من العضلة بها نقص للمادة المشعة (ب) حيث إن الشريان المغذي لها يوجد به انسداد.

وبهذا يمكن تشخيص ضيق الشرايين المغذية للقلب، وكذلك يمكن الكشف عن قدرة الأجزاء المختلفة من عضلة القلب على الانقباض.

وتلـك المعلومات مهمة لتحديد الخطوات اللاحقـة لعلاج المريض ونوع العلاج سواء العلاج بالأدوية أو التدخل لتوسيع الشرايين الضيقة عن طريق القسـطرة واستعمال الدعامات إذا لزم الأمر، أو التدخل الجراحي لإضافة أوعية لتجاوز الانسداد وجعل الدم يتدفق فيها بتغيير مساره للشرايين المضافة لتجاوز الانسداد وتغذية العضلة بكمية كافية من الدم والأكسيجين.

وعنـد الفحص النووي يُحقن المريض عـن طريق الوريد بمادة التكنيزيوم أو الثاليـوم، ومن خلال هذا الفحص تُحدَّد حالة عضلة القلب والكشـف عن وجود جلطات من عدمه وحالة سـريان الدم في الشـرايين والأوردة والقلب، وذلك بقيـاس التروية لعضلات القلب المختلفة علـى مرحلتين، الأولى عقب أداء المريـض لمجهـود عضلي أو كيميائـي، والثانية مـن دون مجهود أي في أثناء الراحة، وذلك باسـتخدام التصوير النووي المقطعي الذي يسـتخدم في حالات اختلال سـريان الدم في الأوعية الدموية التي تغذي القلب (الشرايين التاجية). ويعتبر هذا الفحص من الفحوص المهمة في مجال تشخيص ومتابعة أمراض الشـريان التاجي، حيث يحدّد مدى تأثير الانسدادات أو الضيق في الشـرايين في وصول الدم للعضلـة ومتابعة العـلاج. وتوجد فحوص أخرى لتحديد كفاءة القلب خاصة فـي حالات هبوط القلب، وهناك فحص روتيني قبل بعض العمليات الجراحية والعلاج الكيماوي للسرطان، كما يوجد فحص آخر باسـتخدام الثاليوم المشع، وذلك لاسـتبيان تروية وحيوية عضلة القلب المتأثرة بجلطة سـابقة وتحديد نسبة التلف بعد الجلطة، ويستخدم التصوير البوزيتروني حديثا لتحديد حيوية عضلة القلب أيضا.

مسح إشعاعي لقلب طبيعي

مسح إشعاعي لقلب مصاب بقصور في الشرايين التاجية

الفحص النووي للجهاز الهضمي

1 - فحص تفريغ المعدة: يستخدم الفحص للكشف عن كفاءة تفريغ المعدة حيث تستخدم وجبة خاصة مخلوطة مع مادة التكنيزيوم ويستغرق الفحص نحو الساعتين تقريبا.

2 - فحص اليوريا التنفسي: ويهدف إلى اكتشاف البكتيريا المسببة لالتهاب المعدة وقرحة المعدة ويستخدم فيه الكربون المشع الذي يعطى بالفم، ثم يطلب من المريض النفخ عن طريق مصاصة في سائل كاشف خاص إلى أن يتغير لونه بعد نحو 20 دقيقة ثم يتم عد هذا السائل باستخدام عدادات نووية وعن طريق هذا يتم التشخيص.

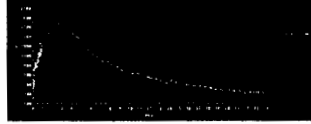
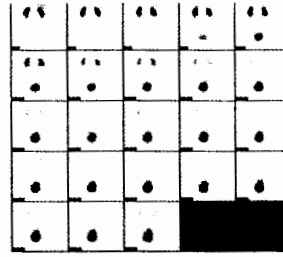
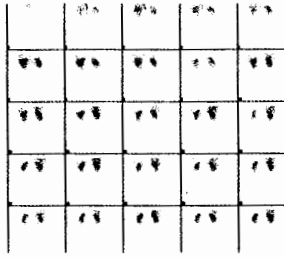
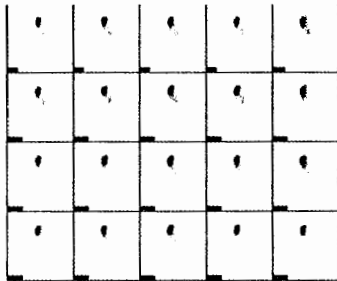
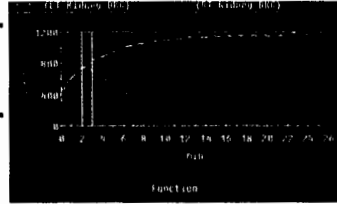
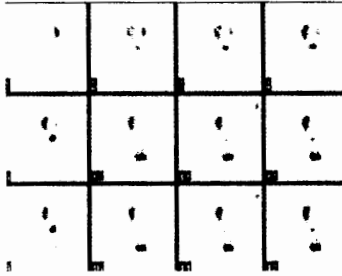
3 - تشخيص التهابات الحوصلة المرارية وانسداد المجاري المرارية.

معظم حالات التهابات الحوصلة المرارية، وكذلك كثير من حالات انسداد القنوات المرارية يجري تشخيصها عن طريق الموجات الصدرية، ولكن هناك عددا من الحالات تحتاج إلى استخدام التصوير باستخدام المواد المشعة التي تذهب وتتركز بعد الحقن في الكبد ثم تفرز مع السائل المراري، ويمكن بهذا تصوير مسار السائل المراري وتجمعه في الحوصلة المرارية (Gall bladder)، وكذلك تدفقه في القنوات المرارية ليصل إلى الاثني عشر. ويمكن من خلال التصوير رؤية المتغيرات المرضية في الحوصلة المرارية وتحديد وظيفتها، وكذلك رؤية انسداد القنوات المرارية وبالذات القناة الرئيسية التي عن طريقها يتدفق السائل المراري إلى الاثني عشر ثم الأمعاء الدقيقة ليستخدم في هضم المأكولات وبالذات الدهنية منها. والمادة المستخدمة هي التكنيسيوم الموسوم بالبرومو أيدا (Bromo Ida).

تتجمع المادة المشعة في الحوصلة المرارية، وتمر عبر القنوات المرارية إلى الأمعاء، وفي حالة التهاب الحوصلة المرارية فإن القناة المؤدية إليها لا تسمح بمرور المادة المشعة حيث يسبب الالتهاب انسدادا بها، وعليه لا ترى الحوصلة المرارية، ويمكن بذلك تشخيص تلك الحالة المرضية التي تحتاج غالبا إلى جراحة لعلاجها.

الطب النووي وأمراض الكلى

تعتبر أمراض الكلى من الأمراض الشائعة ومنها تكوين الحصوات التي تحدث كثيرا في جميع البلدان، وخصوصا الحارة منها، وكذلك الالتهابات وبالذات في صغار السن، علاوة على حالات أخرى أقل حدوثا. ويستخدم هذا الفحص للكشف عن وجود أي مشاكل في وظيفة الكلى نتيجة وجود حصوات أو انسداد في الحالب أو الأوعية الدموية الخاصة بالكلى، وفيه يتم عادة المسح الإشعاعي للكليتين فور حقن المادة المشعة. ويستخدم أيضا هذا الفحص لاكتشاف أي مضاعفات لزراعة الكلى، وأيضا لمعاينة ارتداد البول عند الأطفال. وهناك فحص آخر لتحديد التهابات قشرة الكلى يتم فيه التصوير بعد ساعتين إلى ثلاث ساعات من وقت حقن المريض.

والتصوير باستخدام المواد المشعة يعتبر من أهم الفحوص التصويرية لتشخيص تلك الحالات ومتابعتها، وعلى سبيل المثال عند وجود حصوات يتم تشخيصها بالأشعة المقطعية مثلا فإن السؤال: هل تلك الحصوات مسببة لانسداد في المجاري البولية؟ قد تصعب الإجابة عنه في أحيان كثيرة، وفي تلك الأحيان تتم الاستعانة بالمواد الإشعاعية التي تلتقطها الكلى وتتركز فيها ثم يتم إفرازها مع البول، وعليه فيمكن باستخدام كاميرات الغاما في متابعة تلك المادة في الكلى والمجاري البولية استخدام التصوير الديناميكي ورؤية كيف تتركز ثم تغرز تلك المادة من الكلية لحوض الكلية ثم عن طريق الحالبين إلى المثانة البولية، وهذا يمكن أطباء الطب النووي من رؤية أي انسداد قد يعيق مرور تلك المواد للمثانة ثم إلى الخارج عند التبول. وتوضح الصورتان التاليتان، تصويرا لحالة لا يوجد بها انسداد وأخرى بها انسداد في الناحية اليسرى، وهذه الفحوص، كما هو مذكور في عدة أجزاء من هذا الكتاب، تعرض المريض لجرعات إشعاعية ضئيلة جدا مما يجعلها آمنة.

صورة لمريض كان يعتقد وجود انســداد في المجاري البولية لديه، ولم يثبت هذا من الفحص النووي الذي بين انســياب البول إلى المثانة دون عائق، ويوضح هذا أيضــا المنحنى البياني الذي يبين تجمع المادة المشــعة فــي الكليتين ثم النقطي التدريجي له نتيجة انسياب البول الذي يحتوي على المادة المشعة.

صورة لمريض تبين وجود انســداد في المجاري البولية لديه في الناحية اليسرى، لوحظ وجود تأخير في التخلص من المادة المشــعة في الناحية اليســرى، وهو ما ظهر أيضا بالرســم البياني الذي يوضح عدم نزول الخط البياني للكلية اليسرى ونزوله في الكلية اليمنى التي لا يوجد فيها إعاقة لمسار البول.

الطب النووي والأورام السرطانية

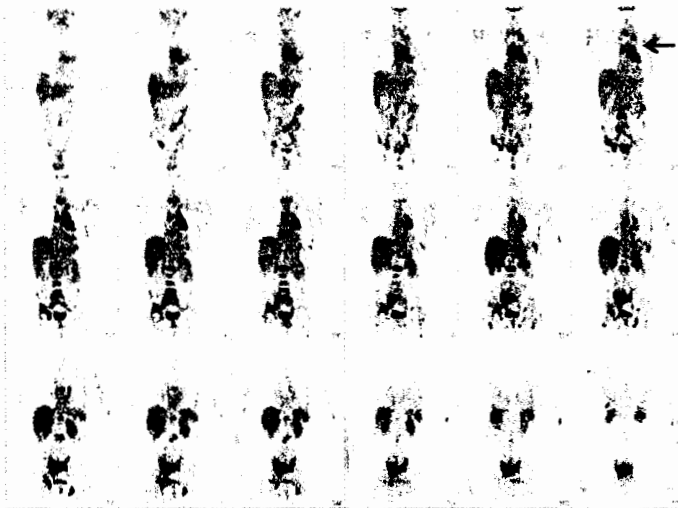
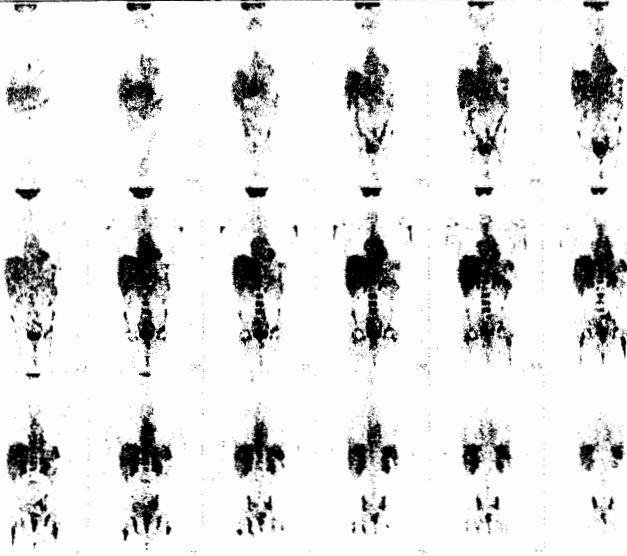
يعتمـــد نجاح علاج الأورام على التشـــخيص المبكر وكذلك على اختيار العلاج المناسب وفقا لمرحلة الورم.

وهنـــاك كثير من فحوص الطب النووي التصويرية التي تســـاعد على التشخيص المبكر لعدد من الأورام وتحديد مدى انتشارها عند التشخيص، ولكـــن الـــدور الأهم للطب النووي فـــي مجال الأورام هـــو متابعة المريض وتحديد، مدى استجابته للعلاج.

ويعتبر ظهور التصوير البوزيتروني ثورة في مجال تشخيص وعلاج الأورام وبالذات ســـرطان الرئة والغدد الليمفاوية، وكذلك بعض حالات ســـرطانات الغدة الدرقية والعظام والقولون والجلد كبعض الأمثلة.

مسح إشعاعي بالتصوير البوزيتروني يظهر ورما بالرئة اليمنى

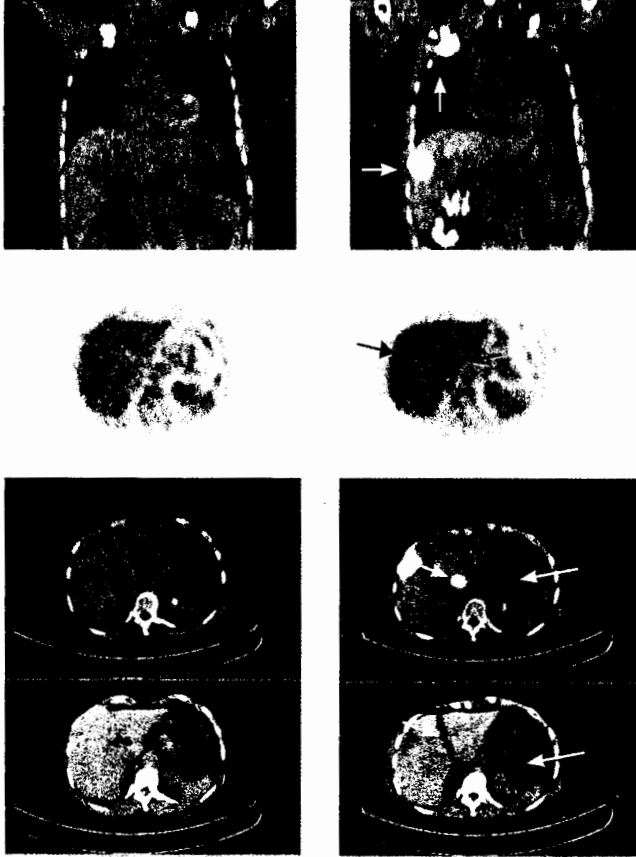
وهذا النوع من التصوير يعتمد على مواد مشـعة ذات عمر قصير ويعتمد تركيز تلك المواد في الخلايا السـرطانية على التغيرات الأيضية، وعلى سـبيل المثال تستهلك الخلايا السرطانية كمية أكبر من سكر الغلوكوز وعليه فتستخدم مادة تشـبهه به، ولكنها تحمل معها المادة المشعة حتى يمكن بواسطة كاميرات التصويـر البوزيترونـي رؤية تلـك الأورام، وكذلك المسـاعدة في معرفة مدى الاستجابة للعلاج الكيماوي أو الإشعاعي بمتابعة كمية الإشعاع المتركز في الورم في الفحوص المتابعة ومقارنتها بالفحوص السابقة.

وللطـب النووي دور مهم في تشـخيص وعلاج الأورام، وعلى سـبيل المثال في تشـخيص أورام الخلايا الليمفاوية بواسطة الغاما كاميرا، ولكن اسـتخدام جهاز التصوير البوزيتروني هو الأكثر دقـة وكفاءة في التقاط البؤر السـرطانية، ويمتاز هذا الجهاز بالمقدرة على رؤية تلك البؤر مبكرا وتقييـم مدى انتشـار المرض بطريقة أفضل من طـرق التصوير الأخرى، وكذلك تقييم فاعلية العـلاج الكيميائي وإلى حد كبير التمييز بين الأورام السـرطانية والحميدة، ويسـتخدم الطـب النووي أيضا مـع علاج أورام الخلايا الليمفاوية ومتابعة الورم كما سيتم توضيحه فيما بعد.

صورة لتصوير بوزيتروني لمريض يعاني سرطانا بالغدد الليمفاوية

صورة أخرى للفحص نفسه بعد العلاج الكيماوي تبين اختفاء معظم البؤر السرطانية مما يدل على استجابة ممتازة للعلاج

ويستمر دور الطب النووي في متابعة هؤلاء المرضى الذين تلقوا علاجا مناعيا أو كيميائيا أو غيره للكشف عن بقايا الأورام أو ارتجاعها بعد العلاج.

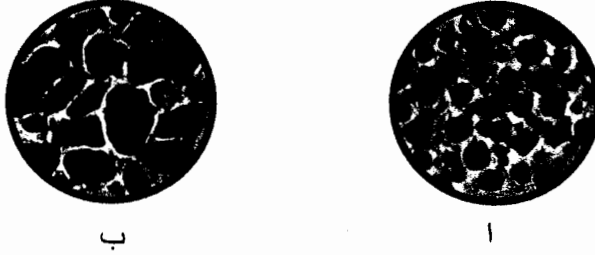
ويشكل التصوير الجزيئي ثورة في فهم الأمراض ومعالجتها ويمكن من خلاله رؤية التغييرات الوظيفية في الخلايا الطبيعية والمرضية. ويعتبر جهاز التصوير البوزيترونى (PET) واحدا من أساسيات الدراسات والعلم في مجال الطب الجزيئي لاختصاصه بالتصوير الجزيئي.

ويستخدم هذا الفرع من الطب أعلى مستويات طرق التصوير التشخيصي مما يمكنه من الاكتشاف المبكر للأمراض وإيجاد أفضل السبل للمعالجة، كما أنه يمنح القدرة على تقييم العلاج مبكرا وفقا لحاجة كل مريض على حدة وبما يتناسب مع طبيعته العضوية مما أدى إلى تشكيل مفاهيم جديدة لممارسة الطب في عصرنا هذا بناء على فهم وتطبيق علم الجزئيات الآنف الذكر وبالتالي إلى إحداث نقلة في الطب من تعميم

الممارسة الإكلينيكية إلى العناية المتفردة لكل مريض. ويدخل هذا النوع من التصوير الطبي تحت مظلة الطب النووي وهو يعتمد على استخدام نظائر مشعة ذات نصف عمر قصير منتجة بواسطة معجّلات نووية ويشمل في التصوير اعتمادا على تجسد التفاعلات الأيضية الجزيئية ويستخدم كثيرا في تحديد مدى انتشار الأورام وتقييم مدى استجابتها للعلاج.

مسح إشعاعي بالتصوير البوزيتروني لجهاز التصوير البوزيتروني المدمج مع الأشعة المقطعية يبين تأثير الأدوية في الأورام السرطانية، في الصورة اليمنى قبل المعالجة تظهر الأورام بوضوح، وفي الصورة اليسرى لفحص بعد العلاج اختفت تلك الأورام نتيجة استجابتها للعلاج الكيماوي.

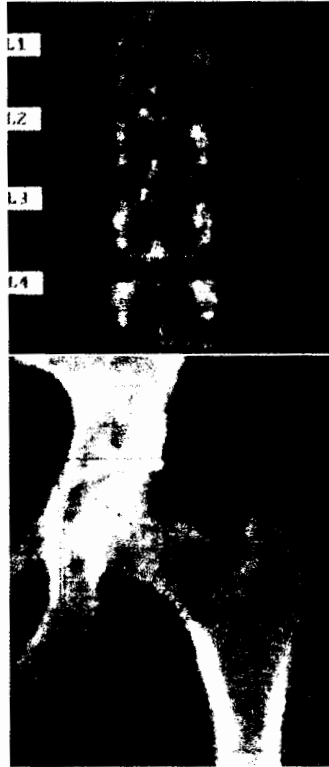
فحوص أخرى:

قياس كثافة العظام

هشاشـــة العظام حالة شائعة وخصوصا وســط السيدات بعد انقطاع الدورة الشـــهرية ولهـــا مضاعفات قد تؤدي إلى كســـور مختلفة وآلام في الظهر ومناطق أخرى. ويعد مرض هشاشـــة العظام أحد الأمراض المزمنة التـــي تترافق بنقص غير طبيعي في كثافة ونوعية العظم الأمر الذي يؤدي إلى ضعف واضح في الهيكل العظمي بشكل عام يؤدي إلى آلام في مناطق مختلفة وخصوصا الظهر وزيادة احتمال الإصابة بالكسور.

شكل توضيحي كشريحة مقطعية لإحدى العظام الطويلة يوضح التركيب الطبيعي للعظام (أ) والتركيب في حالة الهشاشة (ب) حيث إن العظام أكثر رقة

كما يتســم هذا المرض بكونــه أحد الأمراض الصامتــة التي من الممكن أن تنشـــأ وتتطور مـــن دون ألم أو حتـــى علم المريض حتى يتطـــور، بيد أنه من الممكن علاجه إذا ما جرى تشـــخيصه بشـــكل مبكر. ويتسم هذا المرض بترقق الشـــرائح العظمية المكونة للعظام، كما هو موضح بالشكل التوضيحي في الصورة أعلاه، وتشـــير الدراسات التي أجرتها المؤسسة الدولية لهشاشة العظام، وهي منظمة غير ربحية تعمل على التعريف بمرض هشاشة العظام، إلى انتشار هذا المرض على نطاق واسع في منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا.

مـــن الممكـــن علاج معظم حـــالات مرض هشاشـــة العظـــام إذا جرى تشـــخيص المرض بصورة مبكرة. ومن المهم جدا هنا الإشارة إلى أن علاج هذا المرض يتطلب زمنا طويلا الأمر الذي يســـتدعي مراقبة تطور مراحل الشفاء لإعطاء المريض الدافع لمتابعة العلاج.

ومن الاســتخدامات المفيدة للإشعاع اســتخدامه في قياس كثافة العظام لتشخيص الهشاشة ومتابعتها وتقييم مدى فاعلية العلاج. ويستخدم في هذا إما نظائر مشعة وإما أشعة سينية ذات طاقة ضعيفة، والطريقة الأخيرة هي الأكثر شــيوعا الآن. وترى الجمعية الدولية لهشاشــة العظام أن قياس كثافة المعادن في العظم هو الوسيلة الأنجح في تحديد احتمالات الكسور وتشخيص مرض هشاشة العظام ومراقبة فاعلية العلاج، بيد أن العديد من الدول حول العالــم مازالــت تفتقر إلى وجود أنظمــة القياس المطلوبــة والاختصاصيين المؤهلين الذين يمكنهم إجراء عملية القياس.

مثال من فحص كثافة العظام يبين المنطقتين الرئيسيتين اللتين يتم تقييمهما وهما العمود الفقري (الصورة العليا) ومفصل الفخذ (الصورة السفلى)

كما يستخدم أيضا الطب النووي في فحص أعضاء أخرى مثل الطحال والبنكرياس والغدة الدمعية للعين والغدد اللعابية.

سلامة فحوص الطب النووي التشخيصية

عند سماع كلمة نووي يتبادر إلى ذهن كثيرين من الناس المواد النووية التي تستخدم في المعدات الحربية ذات الأضرار الخطيرة على الجسم البشري. ولكن المواد المشعة التي تستعمل في الطب النووي ما هي إلا مواد تنطلق منها نسبة صغيرة من أشعة غاما غير الضارة التي تستخدم في التشخيص. ويتم إنتاج هذه المواد في مصانع معروفة في العالم من مفاعلات أو معجلات نووية خاصة لهذا الغرض.

وعند وصول هذه المواد إلى قسم الطب النووي يقوم مسؤول المختبر الحار بإجراء تحديد العينات والتأكد من معدل الجرعة. وللجرعات المخصصة لكل فحص حدود مسموح بها عالميا وتوجد قوانين خاصة بالوقاية من الإشعاع لحماية المرضى والعاملين والمجتمع بصورة عامة.

إن المادة المشعة التي تعطى للمريض تبقى لمدة قصيرة في جسمه وتطرد كميات كبيرة منها عن طريق البول والبراز والعرق والتنفس، بالإضافة إلى أنها تتحلل فيزيائيا وفق فترة نصف العمر لكل مادة. ولا تؤثر المواد المشعة في مرافقي المريض أو العاملين بالطب النووي؛ ولهذا فليس هناك أي داع لعزل المريض خلال الفحص، أو أن يرتدي العاملون الرداء الرصاصي كما هو معروف في فحوصات الأشعة السينية. كما أن اختبارات الطب النووي لا تجرى على النساء الحوامل إلا في بعض الحالات الضرورية لتجنب تأثير الأشعة في الجنين.

وبرغم أنه بصفة عامة لاستخدام المواد المشعة في حالة الحمل فإنه في بعض الحالات التي تتطلب تشخيص حالة المريض قد تشكل خطرا على حياة المريض فإنه يجوز استخدام المواد المشعة في تلك الحالات، وعلى سبيل المثال في حالة الشك في وجود جلطات في الشريان الرئوي التي قد تكون قاتلة أو يطبق في هذا المبدأ تقييم الفائدة بالمقارنة بالخطر، وفي حالة أن الفائدة المتوقعة من الفحص تكون أكبر من أخطار الاستخدام فإن الطبيب المعالج مع طبيب الطب النووي يقرران إجراء الفحص.

أمـا المرضعات فتجرى لهن اختبارات الطب النووي على أن يتوقفن عـن إرضاع أبنائهن لمدة يوم أو يومـين بعد الفحص عـند اسـتخدام مادة التكنيزيـوم، ولكـن عـند ضرورة اسـتخدام مواد أخرى مثل اليود 131 - (I - 131) فلا بد من توقيف الرضاعة وعدم العودة إليها. وينصح المريض باتباع الإرشادات الخاصة لكل فحص من فحوص الطب النووي قبل إجرائـه، فبعض الاختبارات تحتاج إلى بعض التحضيرات قبل الفحص مثل الصيام وتوقيف بعض الأدوية أو إعطاء قطرات اليود أو شرب سوائل بكميات وافرة.

أما الحالات التي تعالج بالمواد المشعة فيتم التأكد من عدم وجود حمل قبـل بدء العلاج، وقـد يحتاج المريض إلى العزل فـي بعض الحالات لمدة قصيرة جدا مثل علاج سـرطان الغدة الدرقية، كما تنصح المريضة الأنثى كذلك بالامتناع عن الحمل لعدة أشهر بعد العلاج. علاوة على ما سبق فإن الأشـعة غير المؤينة تستخدم أيضا في التشـخيص الطبي مثل استخدام الأشـعة فوق الصوتية والرنين لمقدرته على اكتشاف كثير من الأمراض من دون تعريض المريض لأي تأثيرات جانبية.

العلاج بالإشعاع

ويتم إما بواسطة نظائر مشـعة تستخدم كمصدر خارجي للإشعاع أو بواسـطة مصادر مشعة تعطى للمريض والتي يكون فيها التعرض للإشعاع تعرضا داخليا.

1 - العلاج بالإشعاع كمصدر خارجي

هنـاك عدة أنواع واسـتخدامات للعـلاج بالإشـعاع الخارجي. وفيه يُسـتخدم إما عنصـر كوبالت 60 (Co - 60) - الـذي له زمن عمر نصف يعادل 5 سنوات، أو عنصر السيزيوم 137 (Cs - 137) - الذي له زمن عمر نصف يعادل 30 سـنة كمصادر للإشـعاع الخارجي (أشعة غاما)، ويكون النشاط الإشعاعي للمصدر كبيرا نسبيا ومحاطا بكتلة من الرصاص تمنع أي تسـرب إشـعاعي، بينما توجد نافذة معينة داخل هذه الكتلة تسـمح

بخروج الأشـــعة وتصويبها على الجزء المراد علاجه للمريض، ويتم التحكم فـــي فتح وغلق هـــذه النافذة بواســـطة أجهزة تحكم آلية يقوم بتشـــغيلها الفنيون من خارج الغرفة التي بها المصدر المشـــع، كما يتم أخذ احتياطات كبيرة في حال استخدام هذا الجهاز بحيث يراعى عدم فتح الجهاز إلا بعد وضع المريض عليه وتثبيت نافذة الإشـــعاع على العضو المراد تشعيعه، ويتم التحكم في الجرعة المعطاة للمريض من خلال زمن التعريض، ويعتمد هذا النوع من العلاج على تدمير الخلايا الســـرطانية بواسطة أشعة غاما التي لها قدرة عالية على النفاذ والوصول إلى الورم وتدميره، وهكذا يتم العلاج على أســـاس إعطاء المريض جرعة إشـــعاعية معينة - على عدة جلســـات أسبوعيا - تكفي لتدمير الورم.

يحدد الطبيب المعالج مقدار الجرعة وطريقة إعطائها (من حيث عدد الجلســـات ومقدار الجرعة في كل جلسة، بينما يقوم الفيزيائيون بحساب زمن التعرض للجرعة وحساب المسار الخاص بالأشعة وكيفية التحكم فيه حتى يُمنع بقية أعضاء جسم المريض المعالج من التعرض للإشعاع من دون داع، وتُســـتخدم دائما وحدات الراد (Rad) والغراي (Gray) في حســـاب الجرعة المعطاة للمريض.

وهنـــاك نوع آخر هو اســـتخدام أجهزة معجلات خطيـــة تقوم بتعجيل الإلكترونات لطاقات عالية ثم تُعرض هذه الإلكترونات لألواح معدنية مما يؤدي إلى توليد أشعة سينية ذات طاقة عالية. وتُستخدم هذه النوعية من الأجهزة لعلاج الأورام الســـرطانية العميقة داخل الجســـم، كما تفضل عن أجهزة الكوبالت والســـيزيوم حيث لا يوجد بها مصدر مشـــع بل يتم توليد الإشعاع حين الحاجة فقط مما يستلزم وسائل وقاية إشعاعية أقل مما هو عليه في حالة أجهزة الكوبالت والسيزيوم.

ويتم أيضا اســـتخدام الإلكترونات المعجلة وذلك بتصويبها مباشـــرة علـــى الورم المراد تدميره من دون إمرارها علـــى ألواح معدنية (أي من دون توليد أشـــعة سينية) وذلك في حالة وجود أورام سرطانية سطحية وهذه ميزة ثانية لأجهزة المعجلات الخطية تتفوق بها على أجهزة كوبالت - 60 (Co - 60) وســـيزيوم - 137 (Cs - 137) ، حيث يتم تفادي إعطاء

المريـض جرعة أكثر مـن الحاجة، وذلك في حالة الأورام السـرطانية السطحية، حيث تمتص الإلكترونات الساقطة فقط على السطح المراد تشعيعه ولا تخترق العمق.

2 - الطب النووي العلاجي

تسـتخدم بعض المواد المشـعة ومركباتها في الطـب النووي في علاج بعض أمراض أجهزة وأعضاء الجسـم المختلفة ولتسوية اضطرابات معينة قد يمر بها. ويتم ذلك إما بإعطاء المريض المادة المشـعة عن طريق الفم أو الحقـن الوريدي، وإما بإدخالها إلى العضو المراد علاجه عن طريق الحقن المباشـر، ولأن الطب النووي العلاجي يتوسـع بسرعة ويتيح العلاج بطرق تمكن من التركيز على النسيج المراد علاجه (Targeted Therapy) فسوف نوجز فقط بعض الأمثلة على تلك العلاجات.

(1) علاج حالات زيادة نشاط الغدة الدرقية التسمّمي

وذلك باسـتخدام اليود - 131، وهذا المرض شـائع ولعل أشهر من عانت منه فـي التاريخ هي الملكـة كليوباترا. وهذا العلاج يعطـى منذ أكثر من 60 عامـا وهو العلاج الأمثل لمثل تلك الحالات مما أدى إلى تقلّص عدد العمليات الجراحيـة لمثل هذا المرض. ومن أشـهر من عولج بهـذا النوع من العلاج منذ بداية تطبيقه السيدة أم كلثوم، سيدة الغناء العربي.

الملكة المصرية كليوباترا

الفنانة الراحلة كوكب الشرق أم كلثوم

يعطى هذا العلاج على هيئة كبسولة أو سائل بالفم مرة واحدة في أغلب الحالات وتظهر نتيجته بعد ثلاثة إلى ستة أسابيع.

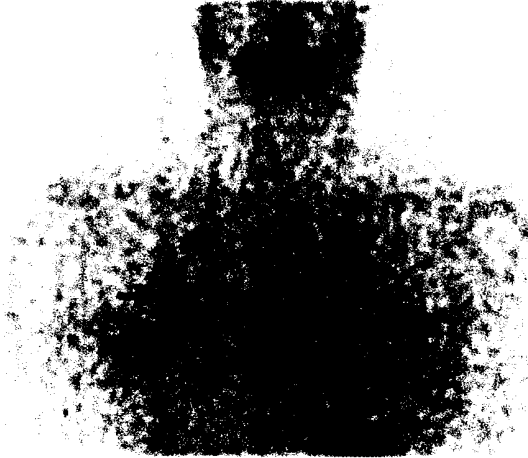
(2) علاج سرطان الغدة الدرقية

وفي هذه الحالات تستخدم جرعات عالية من اليود - 131 تعطى للمريض بعد الاستئصال الجراحي للغدة.

ويعتبر سرطان الغدة الدرقية من الأورام التي تعالج في بعض الأحيان بالكامل إذا تم التشخيص والعلاج مبكرا. وعلاج سرطان الغدة الدرقية يعتمد على إزالة الغدة بالكامل بالجراحة ثم بعد ذلك يجيء دور الطب النووي في العلاج بتحديد ما إذا كان هناك جزء من الغدة متبقٍ بعد الجراحة أو أورام في أماكن مجاورة لأورام انتشرت في الغدد الليمفاوية أو في أماكن أخرى قد تكون بعيدة عن الرقبة أو مكان الغدة الدرقية.

ويستخدم اليود المشع 131 في مسح إشعاعي لتحديد هذه العلوم التي تساعد على تحديد الخطوة التالية في العلاج وهي إعطاء المريض جرعة علاجية من اليود المشع 131، وهذه الجرعة أكبر بكثير من الجرعات التشخيصية المستخدمة في المسح الإشعاعي السابق ذكره، وتعتمد تلك الجرعة على حجم ومكان الأنسجة والأورام المتبقية بعد الجراحة ويتطلب

هذا العلاج في كثير من الدول إدخال المريض المستشفى عدة أيام في غرفة خاصة لمنع تعريض الآخرين للإشعاع، وفي بعض الدول، كالولايات المتحدة وكندا تعطى تلك الجرعات العالية ويسمح لمعظم المرضى بالذهاب للمنزل مع اتباع تعليمات خاصة لمنع تعرض الآخرين لجرعات من الإشعاع هم ليسوا في حاجة إليها. وبعد العلاج الأول تتم متابعة المريض عن طريق تكرار المسح الإشعاعي إذا كانت النتائج المعملية تشير إلى وجود ورم متبق أو ثانويات جديدة، أو إذا كانت الأورام قد استجابت للعلاج الإشعاعي باليود 131 المشع أو أن هناك حاجة إلى المزيد من الإشعاع كالأورام هذه أو في حالة ظهور ثانويات جديدة.

ويعتمد تشخيص وعلاج أورام الغدة الدرقية على أن خلايا الغدة وكثير من سرطاناتها تستخدم اليود بشكل طبيعي لتصنيع الهرمون المكون لها، وعند إعطاء المريض اليود المشع فإنه يسلك نفس طريق اليود غير المشع الذي نستخدمه مع الغذاء ولكن الفارق أنه يصدر إشعاعات تستخدم في التشخيص والعلاج، وفي حالة اليود 131 فإن الإشعاعات الصادرة تكون من نوع بيتا التي تسبب تغيرات في تلك الخلايا أملا أن تؤدي إلى موته وبالتالي التخلص من الورم.

الصورة من فحص اليود المشع لكامل الجسم باستخدام اليود - 131 المشع حيث تظهر عدة بؤر في الصدر تمثل ثانويات من سرطان الغدة الدرقية برغم عدم وجود أي أورام بالرقبة بعد إزالة الغدة مع الورم الأصلي بالجراحة

(3) علاج آلام العظام الناتجة عن ثانويات الأورام السرطانية

بواســطة مادة السترنشــيوم - 89 (Sr - 89) أو مواد أخرى شبيهة عن طريق الوريد، وهذا النوع من العلاج يســاعد على تحسين نوعية الحياة للمريض حيث يقلل من استخدام المسكنات الشديدة التي تجعل المريض في حالة نوم شبه دائم.

كما ذكر من قبل فإن الأورام الســرطانية قد تنتشــر إلى مناطق أخرى ومنها العظام وقد تؤدي تلك الثانويات إلى آلام مبرحة تجعل حياة المريض غيــر محتملة ويضطر الأطباء إلى إعطاء المريض دواء للآلام يؤدي إلى أن يكون المريض شبه نائم معظم الوقت مما يجعل نوعية الحياة غير مقبولة، ولتحســين نوعية الحياة هناك طريقة للتعامل مــع الآلام عن طريق حقن بعض المواد المشــعة التي تتركز حول تلك الثانويات، ثم تؤدي إلى تقليل أو إزالة الآلام وتقليل الحاجة إلى المســكنات الشديدة التي تؤدي إلى التأثير على اليقظة. ويستمر تأثير تلك الجرعات الإشعاعية نحو ثلاثة أشهر في المتوسط، وبرغم أنها تسبب خمولا مؤقتا في النخاع العظمي فإنه يعود إلى طبيعته خلال أســابيع قليلة مما يسمح بجرعات أخرى لاستمرار تحسين نوعيــة حياة المريض، وهذا النوع من العــلاج للآلام متوافر ولا يحتاج إلى إدخال المريض المستشفى.

Anterior *Posterior*

مسح إشعاعي للعظام يبين ثانويات الأورام التي قد تسبب آلاما مبرحة

(4) علاج بعض أورام الكبد

عن طريق حقن مباشر لمواد مشعة مرتبطة بجزيئات تساعد على تشبث تلك المواد بالورم ثم البدء بالقضاء عليه، وفي بعض الأحيان تظهر في الكبد أورام مـــن خلاياه primary tumor أو يحتوي على ثانويات قادمة من أورام أخرى كالثدي والقولون على سبيل المثال. وقد يكون العلاج الجراحي مناسبا في بعض الحالات وكذلك العلاج الكيماوي، ولكن هناك حالات لا تصلح لها العلاجات وفي تلك الحالات يمكن بعدة طرق الدخول إلى الشـــريان المغذي للورم عن طريق القســـطرة وحقن مادة كيميائية أو مادة مشعة للتخلص من الورم كليا أو جزئيا ما لم يكن ممكنا القضاء عليه بالكامل.

وفي حالة حقن المواد المشعة مباشرة في الورم تُستخدم جزيئات صغيرة تحمل بالمادة المشعة وتستقر في الورم وتُعطى فرصة للإشعاعات الصادرة للقضاء على الخلايا السرطانية المكونة للورم.

(5) علاج أمراض المفاصل

أمراض المفاصل عديدة ومعقدة وقد تسبب أعراضا ومضاعفات بسيطة، وقد تسبب آلاما مبرحة ومضاعفات قد تؤدي إلى عدم القدرة على الحركة الكافيـــة. وهناك أيضا طرق كثيرة لعلاج أمـــراض المفاصل وآلامها، وعند وجود التهابات شديدة تؤدي إلى آلام مستمرة قد يحتاج هذا إلى جراحات لإزالة الغشـــاء المبطن للمفصل، وهذه الجراحات لها مضاعفاتها الخاصة بها. ومنذ عدة سنوات بدأ استخدام المواد المشعة المرتبطة بجزيئات صغيرة فـــي علاج آلام تلـــك المفاصل عن طريق حقنها مباشـــرة في المفصل، ومن خلال الإشـــعاعات الصادرة يتم تدمير خلايا الغشـــاء المبطن للمفصل من دون اللجوء إلى الجراحة، مما يؤدي إلى علاج الآلام.

(6) علاج أورام الغدد الليمفاوية

وكذلـــك اســـتخدام المـــواد المضـــادة والمعنونـــة بمـــادة اليتريوم المشـــع 90 Yittrium-90 ـ في علاج أورام الخلايـــا الليمفاوية. وعن دور النظائـــر المشـــعة في العـــلاج المناعي لأورام الجهـــاز الليمفاوي

فإن العلاجات الحديثة تعتمد على الاستهداف المتخصص لخلايا الأورام من دون التعرض لخلايا الجسم السليمة، وبما أن الليمفوما lymphoma هي أحد أورام الجهاز المناعي وتتميز خلاياها بأنها شديدة التأثر بالأشعة، فمن ثم كان العلاج المناعي الإشعاعي مؤثرا كبيرا في علاج أورام الجهاز الليمفاوي. وحيث إن طرق العلاج تحدد طريقة استعمال هذه النوعية من العلاجات مع الإشارة إلى آثارها الجانبية التي لا تختلف عن العلاجات الكيميائية التقليدية، فإن من مزايا هذا العلاج أنه يتطلب تضافر جهود الأطباء في مختلف تخصصات الطب النووي والصيدلة الإشعاعية والتمريض وكذلك جهود الفيزيائيين لخدمة هذا المريض.

استخدامات طبية أخرى

1 - تستخدم النظائر المشعة في إجراء تحليلات طبية مخبرية مثل طريقة المقايسة المناعية الإشعاعية التي تستخدم في العديد من التحليلات الطبية مثل الهرمونات والفيتامينات والفيروسات، حيث يتم سحب عينة الدم من المريض ثم تضاف إليها المادة المشعة المناسبة ثم يعدّ المحلول إشعاعيا بواسطة عدادات أشعة وميضية، ومن خلال القراءة المعطاة يتم التعرف على نسبة وجود الهرمون أو الفيروس أو الفيتامين في الدم. ومن أمثلة ذلك استخدام اليود - 125 (I - 125) لتقدير هرمونات الغدة الدرقية الثيروكسين تي3، تي4، تي7.

2 - تستخدم الأشعة الذرية أيضا في مجال إنتاج الأمصال الطبية، حيث يتم إضعاف قدرة الجراثيم والميكروبات الموجودة داخل هذه الأمصال عن طريق تعريضها للإشعاع الذري، وذلك لدرجة معينة ثم تُعطى للأفراد في أمان تام حيث يكون مقدار الجراثيم والميكروبات في المصل قليلا جدا بحيث تمنح الجسم المناعة المطلوبة من دون حدوث أي مرض. كما يتم أيضا استخدام الأشعة الذرية في تعقيم بعض المنتجات المستخدمة في مجال الطب مثل الحقن البلاستيكية.

3 - تســـتخدم النظائر المشعة في تشخيص الأمراض المعدية التي تنتج عن الإصابة بعدوى عامل مسبب، يمكن انتقاله من إنسان إلى إنسان أو من حيوان إلى الإنســـان، أو من البيئة إلى الإنسان بطريقة مباشرة أو غير مباشرة. وتعد الأمراض المعدية من أهم المشكلات الصحية التي تواجهها الدول النامية، ويُقدر حجم الخســـارة الاقتصادية الناجمة عن تراجع إنتاجية الأفراد المصابين بتلك الأمراض، بمليارات الدولارات ســـنويا، إضافة إلى المبالغ الطائلة التي تتحملها الدول لمعالجة المرض.

وفي كثيـــر من تلك الحالات يتم تحديد مكان الالتهاب بواســـطة الموجات الصوتية أو الأشعة المقطعية.

وفي بعض حـــالات العدوى يصعب تحديد مـــكان الالتهاب وخصوصا مكان الخراريج لإمكان علاجها، وهنا يأتي دور الطب النووي لتحديد مكان الخراج لتســـهيل علاجه بالتفريغ ويستخدم في تصوير الالتهابات الناتجة عن العدوى الجاليوم المشع أو كرات الدم البيضاء بعد ترقيمها بمادة مشعة كالأنديوم 111 أو التكنيزيوم 99.

5

التأثيرات الحيوية للإشعاع الذري

«يجب ألا يسبب الحذر من الإشعاع تقويض القيمة العظيمة للإشعاع في الاستخدامات الطبية»

المؤلفان

تأثيرات الإشعاع غير المؤين

تنتج التأثيرات البيولوجية للإشعاع أساسا من تعرض النسيج الحي للإشعاع المؤين وبالذات عند التعرض لجرعات عالية منه. أما الإشعاع غير المؤين فلا توجد له تأثيرات حيوية قد تؤدي إلى أورام أو أمراض وراثية.

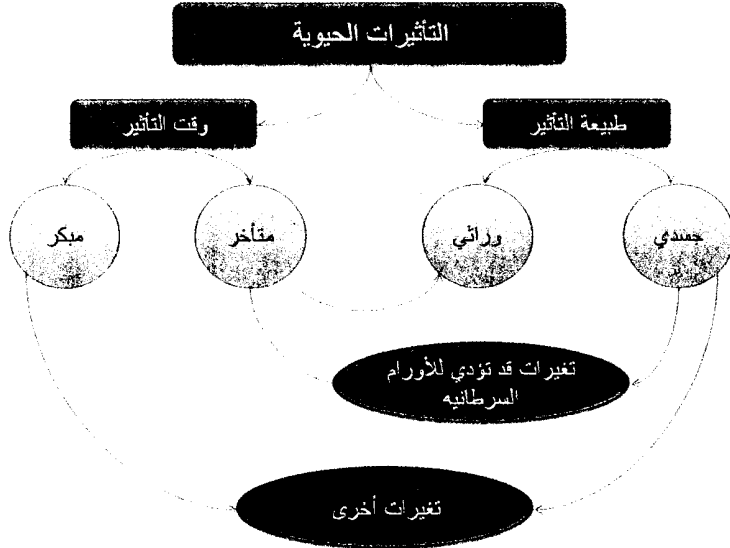
يتلخص تأثير الإشعاع غير المؤين في تسخين سطح الجسم المتعرض للإشعاع حسب الطول الموجي للإشعاع وقوته، فإذا كان الطول الموجي للأشعة غير المؤينة قصيرا فإنها تسبب سخونة لسطح الجسم المتعرض لها، وإذا كان طول الموجات أطول من الجسم المتعرض فإنها لا تسبب سخونة، غير أن للإشعاع غير المؤين تأثيرات أخرى في النسيج الحي كما هو مبين بالجدول التالي.

نوع المصدر	الضرر المحتمل
● الأشعة فوق البنفسجية كأشعة الشمس	● عتامة في العين ● احمرار بالجلد وتغيرات في لونه
● الضوء المرئي	● عجز في الجلد ● تأثير حراري على شبكة العين
● اللـــــيزر	● تأثير حراري على شبكة العين ● تأثير على قرنية العين ● عتامة في العين ● حروق بالجلد ● تسخين سطح الجسم المتعرض
● الميكروويف - التليفونات المحمولة - أفران الميكروويف - التليفونات اللاسلكية المنزلية - الرادار	● تسخين سطح الجسم المتعرض
● المجال المغناطيسي القوي كالتصوير بالرنين المغناطيسي	● ميل للقيء (الشعور بالغثيان) ● كهرباء ستاتيكية على سطح الجسم ● دوار (vertigo) مغناطيسي

تأثيرات الإشعاع المؤين

عند سـقوط الإشعاع الذري على خلية حية فإن ذلك يؤدي إلى انتقال مقـدار مـن الطاقة يعقبه خروج إلكترون من إحـدى ذرات الخلية الحية منتجا بذلك زوجا من الأيونـات وهما الإلكترون المنطلق وهو يمثل الأيون السـالب وبقية الـذرة (النواة الموجبـة وإلكترونات الـذرة مطروحا منها الإلكترون المنطلق) مكونا الأيون الموجب وهذه العملية تسمى عملية التأيين (Ionization) وأي نوع من الإشـعاع يكون له هذا التأثير (التأيين) يسمى بالإشعاع المؤين.

والإشـعاع المؤيـن (Ionizing Radiation) يحتـوي علـى الإشـعاع الجسـيمي (مثل النيوترونات والجسـيمات المشحونة مثل جسيمات ألفا وبيتا، كما يحتوي أيضا على الإشـعاع الكهرومغناطيسـي (مثل الأشـعة السينية وأشعة غاما).

وتعتمـــد التأثيرات البيولوجية للأشـــعة المؤينة - وهي تأثيرات متغيرة ومضادة - على عدة عوامل اســـتنادا إلى طبيعتهـــا وتوقيتها بعد التعرض للإشعاع. ويمكن تقسيم تلك التأثيرات طبقا لتلك العوامل إلى تأثير مبكر (Early) أومتأخـــر (Late)، أو إلـــى تأثير جســـدي (Somatic) أو وراثي (heriditary) كما هو موضح بالصورة أدناه.

شكل يلخص أنواع التأثيرات الحيوية للإشعاع

كيفية حدوث التأثيرات الإشعاعية

يتســـبب الإشـــعاع المؤين في حدوث تأثيرات فـــي الخلايا الحيوية من خلال آليتين رئيسيتين هما التأثير المباشر والتأثير غير المباشر.

1 - التاثير المباشر (**Direct Effect**)

تقترح هذه النظرية أن الإشـــعاعات المؤينة تؤثر بواسطة التصادم المباشر للذرات مع الهدف، وكل الذرات داخل الخلايا مثل الإنزيمات والبروتينات التركيبية البنائية قابلة للإصابة بالضرر الإشعاعي. ولكن الحمض النووي

الـ DNA هو المتأثر الأساسي بهذه العملية حيث ينتج عنها كسر أحادي أو ثنائـــي في الخيط المجدول لـ DNA . وقد اعتبرت هذه النظرية المباشـــرة والتي تسمى أيضا بنظرية الهدف (Target theory) في بعض الأحيان غير كافية لتفسير كل الأضرار الإشعاعية الخلوية.

2 - التأثير غير المباشر (Indirect Effect)

تشـــير نظرية الآلية غير المباشـــرة إلى أن الإشـــعاعات المؤينة تعطي تأثيراتها مـــن خلال التحلل الكيميائي للخلية الحية بفعل الأشـــعة المؤينة والتـــي تنتج عنها جزيئات جديـــدة تتفاعل مع الـــذرات والجزيئات داخل الخلايا (خصوصا شـــريط الـ DNA) محدثة تغييرات كيميائية وتأثيرات ضارة متتابعة. ولشـــرح تبســـيطي أكثر لتلك النظرية فإنه عندما تتفاعل الأشـــعة السينية مع الماء ينتج نوعان من الجذور الحرة (Free Radicals): هيدروجين (H^{0}) وهيدروكسيل (OH^{0}) وكلما زاد تركيز عنصر الأكسجين فـــي الخلية في أثناء تعرضها للإشـــعاع زاد عدد الجـــذور الحرة المتكونة فيها. وتشير الدراسات والأبحاث إلى أن نحو ثلثي التدمير الحيوي الناتج بواســـطة الانتقال الخطي المنخفض للطاقة الإشعاعية يكون بفعل التأثير غير المباشر لها.

العوامل المؤثرة في التأثير الإشعاعي

هناك عدة عوامل أساسية تساهم في درجة تأثير الإشعاع في الخلايا والأنســـجة، وفهم تلك العوامل يســـتغل في تعديل التأثير سواء بالنقص أو الزيادة عند الحاجة في الاســـتخدام الطبي، وهذه العوامل تتعلق بالإشعاع نفسه أو بالأنسجة المتعرضة للإشعاع.

أ- عوامل تتعلق بالإشعاع

هـــذه عوامل ترتبط بالإشـــعاع ذاتـــه وتحدد التأثيـــرات للجرعة المماثلة من أنواع مختلفة من الإشـــعاع على العضو الحي نفسه وهذه العوامل تشمل:

1 - نوع الإشعاع

الأنواع المتعددة من الإشـعاع تختلف في قدرتهـا على الاختراق الذي يعتمـد علـى قيمة الانتقال الخطـي للطاقة (LET) والتـي تمثل الطاقة المفقودة في وحدة المسـافة المقطوعة مثـل إلكترون فولت في ميكروميتر، هذه القيمة تكون عالية لجسـيمات ألفا (α - particles) وتكون أقل بكثير لجسـيمات بيتا (β - particles) وتقل أكثر من ذلك في حالة أشـعة غاما (γ - Rays) والأشعة السينية (X - Ray). وهكذا فإن جسيمات ألفا تخترق مسـافات قصيرة ولكنها تحدث تدميرا كبيرا، بينما جسيمات بيتا تخترق مسـافات أطول محدثـة تدميرا أقل، وهذه المسـافات بدورها أقصر من المسافات التي تخترقها أشعة غاما التي تخترق الأنسجة للمسافة الأطول بـين أنواع الأشـعة المختلفة، ولكن التأثير في الأنسـجة أقـل من الأنواع الأخرى (ألفا وبيتا).

2 - معدل الجرعة

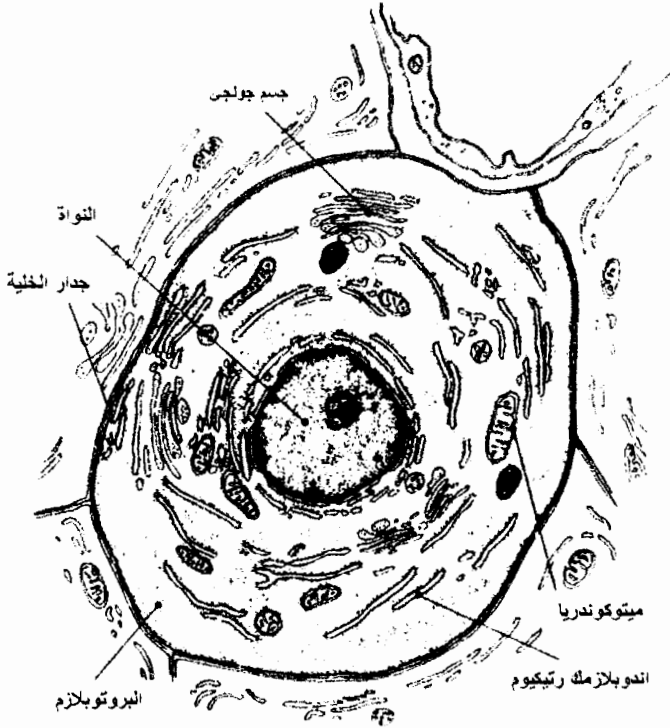
معدل الجرعة (Rate) يمثل الزمن الذي اسـتقبل النسـيج الحي فيه الجرعة الإشـعاعية خلاله، وكلما كانت الفتـرة الزمنية في أثناء التعرض لجرعة إشـعاعية ما أطول أعطي للخليـة الحية فرصة أفضل لكي تعيد بناء ما يتهدم بها وبالتالي يكون التدمير الناتج بالخلية أقل بالمقارنة بزمن أقصر تتعرض فيه الأنسجة لنفس الجرعة.

ب - عوامل متعلقة بالهدف الحيوي

تختلف تأثيرات الإشـعاع على الأنسجة باختلاف نوع الخلية وقدرتها على التفاعل مع ما قد تحدثه الإشعاعات المؤينة من آثار.

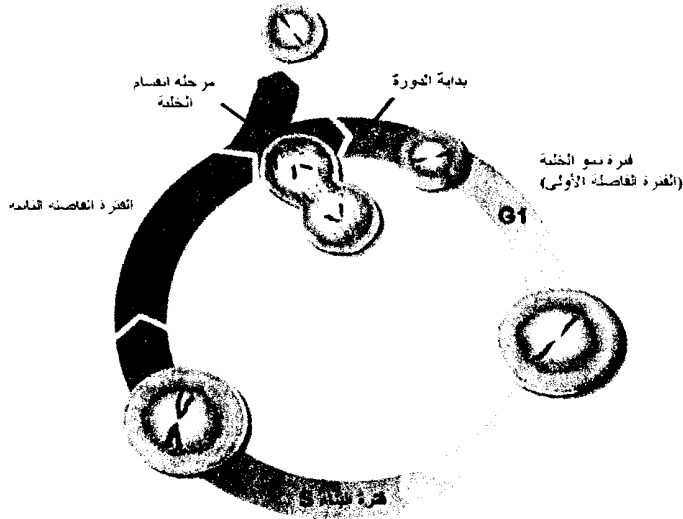
1 - الحساسية للإشعاع

علـى الرغم من أن كل الخلايـا يمكن أن تتأثر بالإشـعاع، فإن الخلايا الطبيعية وخلايا الأورام النابعة منها تختلف في حساسيتها للإشـعاع تبعا لنوع الخليـة، فالخلايا التي تنمو ببـطء والتي تنمو

بسرعة لهما حساسية مختلفة للإشعاع. وتتفاوت وتتغير الحساسية للإشـــعاع وفق معدل انقسام الخلية غير المباشـــر والنضج الخلوي لها، فبينما تكون الخلايا المكونة للدم حساســـة جدا للإشعاع، تكون العضلات والخلايا المكونة للغدة الدرقية عالية المقاومة له. وبشـــكل عام فإن نواة الخلية هي نســـبيا أكثر حساســـية للإشعاع عن حشوة الخلية البروتوبلازم.

2 - **قدرة الخلية على إعادة بناء ما دمره الإشعاع**

بعض الخلايا معروفة بأن لها قدرة أكبر من الخلايا الأخرى على إعادة بناء ما دمره الإشـــعاع المؤين، وبناء على ذلك فإن نتيجة التأثير البيولوجي الناتج من الجرعة الإشعاعية نفسها يختلف من خلية إلى أخرى.

3 - طور دورة الخلية خلال تعرض الخلية للإشعاع

دورة الحيـاة للخليـة تحتوي علـى أطوار عدة هي: الطـور التمهيدي للتركيـب الصناعي للـ DNA (G1) وطور التركيـب الصناعي للحمض النووي (S) والانقسـام الفتيلي المسـبب للتآكل الصبغي، الانقسام الفتيلي (M) وطور عـدم النمو (O) والمعروف حديثا والـذي يمثل الفترة الزمنية مـا بين نهاية الطور (M) وبداية الطور (G1). كل أطوار دورة الخلية قابلة للتأثر بالإشعاع المؤين، غير أن هذه الحساسية الإشعاعية لخلية ما تختلف مـن طور إلى طور لدورة الخلية كما تختلف مـن نوع خلية إلى أخرى كما ذكر. وتتجلى الحساسية العليا في الطور (G2) حيث إن التعرض للإشعاع خـلال هذا الطور يعوق بداية الانقسـام للخلية، كما يبدو الطور (S) أكثر الأطوار مقاومة للإشـعاع. هذا وتجدر الإشارة إلى أن الشفاء أو استعادة الوضع كما كان عليه قبل التعرض للإشـعاع يحدث في كل الأطوار لدورة الخلية إلا إذا كان التحطم والتدمير دائما وغير قابل للعودة.

دورة حياة الخلية (Cell life cycle)

مراحل انقسام الخلية الحية

4 - درجة الأكسجة للخلايا والأنسجة

من المعروف أن وجود جزيء الأكسيجين بالخلية يزيد الاستجابة للإشعاع وهذا يسمى بالتأثير الأكسيجيني للخلية، حيث إن كمية الجزيء الأكسيجيني الزائدة على معدل استخدام الأكسيجين بواسطة الخلية غالبا ما يكون العامل الأهم لزيادة حساسية الخلية للإشعاع. والأكثر احتمالا للآلية التي تتسبب في هذا التأثير هو أنه يسمح بوجود جذور حرة (free radicals) أكثر والتي تزيد من إمكان تحطيم الخلايا.

الأضرار الناتجة عن الإشعاع بالخلايا

بشكل عام، كل الأضرار الإشعاعية إما أن تكون غير مميتة للخلية وبالتالي ممكن ارتدادها وإعادة إصلاحها ذاتيا أوبمساعدة العلاج وإما أن تكون مميتة ودائمة ولا يمكن إصلاحها. ويحوي التغير النووي بعد الإشعاع انتفاخا أو تدميرا لغشاء النواة أو إفسادا للمواد الصبغية فيه. بينما تتم التغييرات في البناء السيتوبلازمي تورما وتفسخا للميتوكوندريا والإندوبلازم في النسيج الشبكي ضمن تأثيرات أخرى. وقد يؤدي تأثير الإشعاع على الخلية إلى:

1 - موت الخلية.

2 - منع انقسام الخلية.

3 - حدوث اضطراب في عملية انقسام الخلية ينتج عنه خلايا تحوي أنوية ذات شكل وتكوين غير طبيعي.

4 - ضرر قابل للارتداد مع تورم مؤقت للخلية.

5 - أضرار جينية مثل تحطم حبل الـDNA الذي قد يؤدي إلى تغيير مفاجئ في الجينات الوراثية أو إنتاج جينات محدثة للسرطان يظهر تأثيرها بعد سنوات.

أنواع التأثيرات الحيوية للإشعاع

التأثيرات الحيوية للإشعاع منخفض الجرعات يصعب أن تدرس في بيئة غير متحكم فيها، وتعرض الأفراد لجرعات عالية من الإشعاع خلال الحوادث النووية والحروب - مع الأسف - هو الطريقة الرئيسية

المتاحة لدراسة التأثيرات الحيوية للتعرض لجرعات إشعاعية عالية. في الجرعات المنخفضة هناك فهم جزئي لتأثيرات الإشعاع التي قد تؤدي إلى سرطان أو تدمير جيني، وتتراوح مدة ظهور هذه التأثيرات من سنوات عدة إلى أجيال عدة، أما في الجرعات العالية فيتضح التأثير خلال دقائق أو ساعات أو أيام. ومن المهم للأطباء أن يكونوا على علم جيد ودراية كاملة بالتأثيرات المبكرة للجرعات الإشعاعية العالية (واحد سيفرت أو أكثر للجسم كله) حيث إن هناك دائما إمكانا لأن يتعرض المرء لجرعات إشعاعية عالية من خلال حوادث إشعاعية أو حرب نووية.

التأثيرات الناتجة من الجرعات الإشعاعية العالية

أولا: التأثيرات المبكرة من الجرعات الإشعاعية العالية

(أ) الأعراض الحادة لتعرض الجسم بالكامل للإشعاع

بعد تعرض الجسم بالكامل لجرعة إشعاع مؤين كبيرة ومفردة وقصيرة المدى فإن الأضرار الناتجة تتمثل في سلسلة من الأعراض السريرية يمكن عامة أن تقسم إلى أربع دورات سريرية:

1 - دورة نذيرية Prodromal (الإنذار الأول لحالة مرضية) وتتراوح من صفر إلى 48 ساعة يحدث خلالها فقدان الشهية للطعام وغثيان وقيء وإسهال.

2 - دورة ساكنة وتتراوح من 48 ساعة حتى ثلاثة أسابيع بعد التعرض وخلالها لا تكون هناك أي أعراض من الأهمية ليلحظها المريض بنفسه.

3 - الطور الرئيسي للمرض وهو الذي يتبع المرحلة الساكنة، وفيه تظهر أعراض متغيرة اعتمادا على الجرعة الإشعاعية التي تعرض لها المريض.

4 - دورة الشفاء: إذا بقي المريض على قيد الحياة فإن الشفاء يحدث من 6 أسابيع إلى عدة أشهر بعد التعرض وفق درجة التأثير الحيوي.

إن وجود هذه الدورات بوضوح يعتمد على كمية التعرض الإشعاعي، وبشكل عام فإن نصف هؤلاء الذين يتعرضون لجرعات تساوي 2 سيفرت يعانون من القيء خلال 3 ساعات، وبالتالي دورة نذيرية واضحة وتقل الأعراض إذا كانت الجرعة أقل من واحد سيفرت وقد تمر من دون انتباه.

أمراض الإشعاع الحادة

يمكن أن تكون التأثيرات بسيطة مثل فقدان الشهية أو الإجهاد البسيط أو أن تكون فقط دلائل تظهر بالفحوص المخبرية، حيث يظهر نقص بسيط فــي كرات الدم الليمفاويــة (Lymphopenia)، أو ربمــا يبدأ ظهور مبكر لبعض الأعــراض والتأثيرات بعد بضع دقائق فقط من التعرض لجرعات إشعاعية عالية.

1 - اعراض النخاع العظمي

تحــدث تلك الأعراض عند تعرض الجســم كله لجرعــات عالية أكثر من 1.5 ســيفرت، وعادة لا تظهر لعدة أســابيع بعــد التعرض، ثم تحدث أنيميــا (فقر دم) وزيادة في ضغط الدم وإرهــاق وتقرحات في الفم وبقع علــى الجلد ذات لون أرجواني وتظهر التهابات، وكلما زادت الجرعة زادت الأعراض المرضيــة الناتجة عن التأثير في النخاع العظمي قســوة، حتى تؤدي إلى الموت نتيجة لحدوث نزف داخلي.

2 - أمراض الجهاز الهضمي

يحــدث هــذا العــرض المرضي عند جرعــات عالية مــن 6 إلى 10 ســيفرت، ويســبب مظاهر مرضية متعلقة بالجهاز (المعــدي - المعوي) أو الهضمي، بالإضافة إلى الأعــراض المرضية للنخاع العظمي. بداية يحدث فقدان للشــهية وغثيان وقيء بين ساعتين وثماني ساعات، وقد تخمد هذه التأثيرات بسرعة أو قد تتطور فيظهر انتفاخ معدي وإسهال بعد بضعة أيام ويزداد الغثيان والقيء، وتزداد حرارة الجســم مع الإســهال المتواصل، مما قد يؤدي إلى حدوث جفاف خطير وانهيار عام للجسم يؤدي إلى الوفاة.

3 - الأعراض المرضية للجهاز العصبي المركزي

يقــاوم الجهاز العصبي المركــزي - بقوة - التأثيرات الإشــعاعيــة بصفــة عامة، حيث نحتــاج إلى جرعة أكبر من 10 ســيفرت لإحداث تأثيرات فعلية في المخ والجهاز العصبي، وتشتمل الأعراض على غثيان

شـــديد وقـــيء وارتبـــاك وتشـــنجـــات وغيـــاب عن الوعي وشبه اختفاء للكريـــات الليمفاوية، وقد تحدث الوفـاة خـلال أيام من التعرض لتـلك الجرعة الكبيرة.

(ب) التأثيرات الحادة لتعرض جزء من الجسم للإشعاع

عندما يتعرض جزء معين من الجسم لكمية كافية من الإشعاع لحدوث ضـــرر يمكن أن تظهـــر تأثيرات حادة في المنطقة التي تعرضت للإشـــعاع مثـــل الالتهابات الجلديـــة والتقرحات، ومثال ذلك مـــا يحدث من احمرار والتهابات بجلـــد المرضى الذين يعالجون بالعلاج الإشـــعاعي الذي يتركز على منطقة معينة.

ثانيا: التأثيرات الإشعاعية المتأخرة

تحدث هذه التأثيرات نتيجة للتعرض لأي جرعة إشـــعاعية سواء كانت منخفضـــة أو عاليـــة، على رغم عدم وجـــود دليل قوي علـــى حدوثها مع الجرعات المنخفضة.

1 - السرطان

هذا هو التأثير المحتمل الأكثر أهمية للإشعاع، حيث تم التعرف منذ أكثر من 90 عاما مضت على أن الإشعاع المؤين قد يسبب السرطانات، ويصبـــح الســـرطان واضحا فقط بعد زمن طويل مـــن حدوث التدمير الأول، أي بعـــد فترة مـــن الكمون، وتكون الأنســـجة ذات معدل التكاثر العالـــي للخلية أكثر ميلا لتخليق أورام وســـرطانات نتيجة للإشـــعاع. ومثال على تلك الأمراض السرطانية اللوكيميا أو مرض ابيضاض الدم (Leukemia) الذي يظهر بعد ســـنتين إلى خمس ســـنوات من التعرض الإشـــعاعـــي، بينما تظهر ما تســـمى الأورام الصلبة بعد 10 ســـنوات أو بعـــد عـــدة عقود منـــه. وأمثلـة على تلـك الأورام هـــي ســـرطانات المخ والصدر والقولـون والغـــدة الدرقية والمبيض والرئة والمثانة البولية والمعدة والمريء.

وعلى رغم أن هناك احتمالا لأن يسبب التعرض الإشعاعي المنخفض الجرعة للأورام فإنه لا يوجد دليل على أن هذا الإشـعاع المنخفض يسـبب السرطان، حيث تمت دراسـة 6000 حالة لمرضى تم إعطاؤهم جرعات تشـخيصية من اليود المشـع 131 - (I-131) ولم تحدث أي زيادة في نسـبة حدوث سـرطان الغدة الدرقية في هؤلاء المرضى، بمن فيهم من أطفال حيث احتوت الدراسـة علـى 2000 حالة لمرضى أطفـال، بل إن نتائج الدراسـات الحديثة تقلل من تأثيرات الإشعاع المنخفض الطاقة في تخليقه للسرطان، بل وقد تصل إلى أن التعرض لبعض المستويات المنخفضة من الإشعاع قد يكون مفيدا.

ولكي نشـرح ماهية حدوث السرطان أو الورم في الخلية فإننا يمكن أن نوجز شـرحنا بما يلي؛ أن التغيرات الحيويـة في الحمض النووي (DNA) تحدث باسـتمرار في أجسامنا نتيجة للأيض البشري الذاتي، وهي تغيرات مستمرة باستمرار بقائنا على قيد الحياة، وقدرها العلماء بـ 240 ألف تغير فـي اليوم الواحد، فإذا حدث تغيـر أو تحول بيولوجي في حمض (DNA)، وهو ما يسمى بالطفرة الجينية (mutation) تكون للخلية الحية القدرة على إصلاح هذا الخلل بشكل ذاتي تلقائي، وتعيد بناء ما تهدم أو اختلف بها.

ومن أهم أسـباب الطفرات الجينية المؤدية إلى السرطان هو الإشعاع، وكلمـا كان عمر الخلية أصغر كانت قدرتها على إصلاح طفراتها أو خللها أكبر، ولذلك نرى قلة عدد الأطفال الذين يعانون وجود أورام أو سرطانات، حيث أشـارت الدراسـات إلى أنه في حالة التعرض الإشعاعي المنخفض الجرعة فإنه تكون للخلية قدرة على إصلاح ما دمره الإشعاع وإعادة البناء بمقدار 50 - 100% مما تهدم. وتزداد نسـبة ظهور السـرطان بالإنسان كلما تقـدم في العمر، وذلك نتيجة لفقدان الجسـم القدرة تدريجيا على إعادة بناء التحولات الحيوية لـ DNA.

2. التأثيرات الوراثية (الجينية)

هذه التأثيرات قد تحتوي على تغيرات في عدد تركيب الكروموزومات (الصبغات) وإحداث تحـولات حيوية وراثية جينية وتغييرات في الصفات الوراثية الغالبة أو المتنحية.

وتعتمد التأثيرات الوراثية على العوامل الآتية:

- **درجة نمو الخلية الجرثومية**

الخلايا الجرثومية غير الناضجة تبدو قابلة للإصلاح بينما تقل نسبة الإصلاح أو تنعدم في الخلايا الجرثومية الناضجة.

- **الجرعة الإشعاعية**

تبدأ عملية الإصلاح أو إعادة البناء لحظة بدء حدوث التدمير الإشعاعي، وكلما زادت الجرعة زاد معدل التدمير، لأنها تنتج تحولات أحيائية حيوية جينية أو طفرات أكثر، بينما كلما قلت الجرعة قلت الطفرات الناجمة.

- **الجرعة المجزأة**

الفترة الزمنية بين أجزاء الجرعة مهمة جدا لتكرار التغيرات الحيوية فعدد التنقلات الجينية - أي التأثير التدميري للإشعاع - سوف يقل بتجزئة الجرعة بالمقارنة بجرعة كبيرة واحدة أو جرعات متتالية بينها زمن قصير غير كاف للتعامل مع الطفرات وإعادة الإصلاح.

- **الفترة بين التعرض والحمل**

الفترة الزمنية بين التعرض الإشعاعي والحمل مهمة، والتغير الحيوي يكون قليلا في حال حدوث الحمل بعد 7 أسابيع أو أكثر من التعرض الإشعاعي بينما تزداد التغيرات الحيوية كثيرا عندما تكون الفترة الزمنية بين التعرض الإشعاعي والحمل 7 أسابيع أو أقل مما يزيد من خطورة التشوهات الخلقية للجنين.

3 - التأثيرات في الطفل قبل الولادة

تعتبر المرحلة الجنينية واحدة من أهم المراحل الحساسة للإشعاع في حياة أي كائن حي، والثالوث التقليدي للتأثيرات الإشعاعية في الجنين هي: تأخر النمو ووفاة الجنين أو المولود والتشوه الخلقي. واحتمالية وجود واحد من هذه التأثيرات أو أكثر يعتمد على الجرعات الإشعاعية ومعدل الجرعة ومرحلة الحمل عند التعرض للإشعاع.

إن التأثيرات المحتمل حدوثها من التعرض للإشعاع في مراحل الحمل المختلفة أمر مختلف عليه. فحين افترضت بعض الدراسـات زيادة الخطر فـي تغيير تكوين الدم أو تكـون أورام صلبة في العمر المبكر للمولود الذي تعرض للتشـعيع جنينا أظهرت دراسات أخرى نتائج مغايرة. من بين هذه الأبحاث دراسـة قارنت بين أفـراد تعرض ذووهم (بالتحديـد الوالدان) لإشـعاع القنابل الذرية التي أسـقطت على هيروشـيما ونجازاكي وأفراد آخرين لم يتعرض ذووهم للإشـعاع، وخلصت إلـى عدم وجود فروق ذات دلالـة في عدد كبير مـن المتغيرات التي تحتوي علـى التأثيرات الخلقية (التشوهات) ووفيات المواليد وسرطان العمر المبكر.

4 - تأثيرات جسدية متأخرة أخرى

إعتام عدسة العين

التعرض الإشـعاعي المسـتمر للعيون يمكن أن يؤدي إلـى إعتام ثانوي لعدسـة العين، فيحدث عدم انتظام في ألياف العدسـة، وليسـت كل أنواع الإشعاع تتسـاوى في إحداث إعتام عدسة العين، فالنيوترونات هي أكثرها تأثيرا في الجسـم البشـري والأقدر على إحداث هذه العتامة. إن التعرض الإشـعاعي الذي يبدأ من 2 إلى 5 سـيفرت كجرعة واحدة أو 0.1 سيفرت على جرعات مجزأة كاف للبدء بإعتام عدسة العين، والدورة الزمنية ما بين التعرض الإشعاعي وظهور عتامة العدسات تكون في المتوسط من سنتين إلى ثلاث سنوات على مدى يتراوح بين 10 شهور إلى أكثر من 30 سنة.

القصور الدرقي

يحدث قصور في وظيفة الغدة الدرقية عندما تتعرض للتشـعيع ودليل ذلك القصور الذي يحدث خلال العلاج الإشعاعي للأورام الخبيثة للرأس والرقبة أو عند علاج النشاط الزائد لها وذلك باستخدام اليود المشع 131 - (I -131)، ويتحسن القصور الدرقي عادة خلال فترة زمنية تتراوح ما بين عدة أشـهر إلى عدة سنوات بعد التعرض الإشعاعي، لكنه في حالات أخرى قد يكون دائما.

فقر الدم الحاد

إن تعرض الجسم البشري للإشعاع قد يسبب حدوث فقر دم حاد يعتمد على جرعة الإشعاع، وإذا ما كانت جرعة واحدة أو مجزأة، ويحدث هذا بسبب انخفاض قابلية التكاثر أو التوالد الخلوي نتيجة لتراكم الضرر في ساق الخلايا بالنخاع العظمي، ومن المهم بمكان أن ندرك أنه إذا بقي جزء من النخاع العظمي بعد التشعيع سليما وغير تالف فإنه سوف يقوم بإحلال ما تم تدميره في أثناء عملية التشعيع هذه. وفي الواقع واستنادا إلى دراسة أجريت على الحيوانات فإن بقاء ما يقارب من 10% فقط من النخاع العظمي نشطا بعد التعرض للإشعاع يمكن أن يسهم بخفض معدل الوفيات من 50% إلى صفر %.

التأثيرات الإشعاعية من الجرعات المنخفضة

كما سبق ذكره، فإن الجرعات الإشعاعية المنخفضة قد تؤدي إلى زيادة حدوث السرطان أو الأمراض الوراثية على رغم عدم وجود دليل قاطع على هذا، ولا بد من توضيح تأثير التعرض لجرعات منخفضة شائعة كالتعرض للإشعاع من خلال الاستخدامات الطبية.

التعرض الإشعاعي خلال الإجراءات الطبية

خلال فحص الصدر بالأشعة السينية يتعرض الإنسان إلى جرعة إشعاعية مقدارها 0.1 إلى 0.2 مللي سيفرت بينما تتلقى حويصلة المرارة نحو 2.5 مللي سيفرت، ومتوسط الجرعة المعطاة للجسم البشري خلال فحص طب نووي التشخيص في حدود 3 مللي سيفرت، وهي تختلف وفق نوع الفحص، وعلى سبيل المثال فالجرعة الممتصة من فحص التنفس بمادة اليوريا باستخدام الكربون المشع تعادل الجرعة الممتصة للمسافر خلال ساعة طيران واحدة، وعندما تقارن هذه القيم للتعرض الإشعاعي من الفحوص الإشعاعية الطبية مع تلك المنبعثة من مصادر الإشعاع الطبيعي، وبخاصة الأشعة الكونية التي تعطي جرعة إشعاعية متوسط مقدارها 3.6 مللي سيفرت في السنة (للمستويات المحدودة بالولايات المتحدة

الأمريكية، وأعلى من ذلك في مناطق أخرى) يتبين أن التعرض الإشعاعي من الفحـوص الطبية ضئيل، وقد أثبتت الدراسات أنه لم يكتشف أي تأثيرات حيوية ناتجة من التعرض الإشعاعي المنخفض خلال الفحوص الطبية المستخدمة استخداما صحيحا، بل ونقيضا لذلك فإن دراسات عديدة أجريت حديثا على قطاعات سكانية كبيرة أفادت بوجود تأثيرات صحية إيجابية للإشعاع المنخفض متمثلة في انخفاض الوفيات وانخفاض نسبة حدوث السرطان للتجمعات السكانية التي تتعرض لجرعات إشعاعية منخفضة مقارنة بهؤلاء الذين يعيشون في مناطق يكون فيها مستوى الإشعاع أكثر انخفاضا.

وتلخيصا لما سبق فإننا يمكن أن نقول:

- وفقا لخبرتنا فإنه لا يمكن أن يوصف أي مستوى للإشعاع بأنه آمن تماما، والجرعات الإشعاعية يلزم أن تصل إلى مستوى معين حتى تسبب حدوث ضرر حاد.
- لم يسبق توثيق أي تأثيرات حيوية لأفراد نتيجة لتعرضهم للإشعاع في أثناء إجرائهم تشخيصات طبية، كما أن الجرعات الممتصة خلال فحوص الطب النووي قليلة جدا.
- يجب ألا يسبب الحذر من الإشعاع تقويض القيمة العظيمة للإشعاع في الاستخدامات الطبية.
- إن طريقة الاستخدام الآمنة هي الأهم لجميع مستويات الإشعاع، لمنع أو تقليل التأثيرات الحيوية الممكنة للإشعاع.

6

الوقاية من الإشعاع

«بالإضافة إلى الطرق المعروفة للوقاية من الإشعاع والتي لا بد من تطبيقها بدقة، فإن الطريقة المثلى لضمان حماية البيئة من التلوث الإشعاعي تقتضي القيام بأبحاث علمية مكثفة وعمل دراسات مستمرة حول الإشعاع»

المؤلفان

بعد اكتشاف الأشعة السينية والمواد المشعة، بدأ عصر جديد في مجال التصوير باستخدام هذه الإشعاعات الجديدة في جميع المجالات خصوصا الطبية، ونظرا إلى عدم إلمام العلماء بكل خصائص هذا النوع الجديد من الإشعاعات، فلقد أُضير الكثيرون من العاملين في مجال التصوير، سواء باستخدام أجهزة الأشعة السينية أو باستخدام المواد المشعة. مما دفع العلماء إلى محاولة فهم طبيعة هذه الإشعاعات ومعرفة آثارها الإيجابية والسلبية، ولقد أدى ذلك إلى اكتشاف قدرتها على تأيين المواد، ومن هنا ظهرت خطورة هذه الإشعاعات، وسميت بالإشعاعات المؤينة، ولكن لعظم الفوائد التي أعطتنا إياها الإشعاعات المؤينة اتفق العلماء على

البحث عن سبل آمنة لاستخدامها؛ بمعنى أن يقنن استخدامها حتى يصبح أداة علمية ذات نفع كبير وضرر قليل أو منعدم. ومن تلك اللحظة ولدت فكرة الوقاية من الإشعاع، وبدأت تظهر العديد من المنظمات العالمية الدولية والمحلية التي تسن القوانين المنظمة للعمل على وقاية المستخدمين للإشعاعات المؤينة والأفراد عامة، وتقوم أيضا بعمل الأبحاث اللازمة في مجال الوقاية من الإشعاع للوصول إلى تحقيق الهدف المنشود منه، وهو أكبر استفادة، بأقل ضرر ممكن.

ومن أهم هذه المنظمات التي أنشئت لغرض الوقاية من الإشعاعات المؤينة هي الهيئة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP) التي أنشئت عام ١٩٢٨م - والتي انبثقت من المؤتمر الدولي للطب الإشعاعي - وتختص بوضع التعليمات المنظمة للعمل في هذا المجال متعاونة مع غيرها من المنظمات الدولية في المجال نفسه مثل الهيئة الدولية لوحدات الإشعاع وقياسه (ICRU) ومنظمة الصحة العالمية (WHO) والوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA)، واللجنة العلمية لتأثير الإشعاع الذري (UNSCEAR) التابعة للأمم المتحدة، وكذلك منظمة العمل الدولية (ILO). و بناء على ذلك صاغت الحكومات المختلفة في جميع أنحاء العالم هذه التعليمات، وأصدرت قوانين محلية تابعة لها لتنفيذ هذه التعليمات. ولقد بنيت فلسفة الوقاية من الإشعاعات المؤينة على مبادئ ثلاثة وهي:

1 - **تبرير الاستخدام:** بمعنى أن تكون الفائدة المرجوة من استخدام الإشعاعات المؤينة للأفراد والمجتمع أكبر من الضرر المسببة له في حال استخدامها .

2 - **الاستخدام بأقل قدر ممكن من التعرض الإشعاعي:** وهو ما يعرف بمبدأ الـ ALARA (As Low As Reasonably Achievable) أي خفض مقدار التعرض إلى أقل مقدار يمكن بواسطته إنجاز العمل وتحقيق الهدف المرجو منه. ويمكن تحقيق هذا المبدأ من خلال وضع أفضل التصميمات للمعدات المستخدمة لإنتاج الأشعة المؤينة، بحيث تعطي أكبر حماية ممكنة للعاملين والمرضى، وكذلك تخطيط المختبرات التي يوجد بها استخدام للمصادر المشعة وأجهزة الإشعاع مع الأخذ في الاعتبار العوامل الاقتصادية المطلوبة لتحقيق هذا الغرض.

3 - **حـدود الجرعـة**: وهي الحدود التي لا يجوز بأي حال من الأحوال أن يتم تجاوزها ســواء للعاملين بالإشعاع أو المرضى الذين يتم فحصهم أو علاجهم باســتخدام الإشــعاع. والغرض الرئيســي مــن وضع هذه الحــدود هو منع حدوث التأثيرات الجســدية المحددة والمباشــرة مثل الحروق الإشعاعية التي تنتج من التعرض لجرعات عالية دفعة واحدة، وكذلك منع حدوث التأثيرات الجســدية المحتمل حدوثها في المستقبل مثل الإصابة بمرض الســرطان والأمــراض الوراثية مثل التشــوهات الخلقية للجيلين التاليين. وهذه التأثيرات لم يثبت لها حد أدنى للتعرض الإشــعاعي؛ بمعنــى أن احتمالية حدوثها موجودة حتــى مع الجرعات المنخفضة أيضا وهو ما ثبت من خلال الإحصائيات العلمية.

ولمنع حدوث التأثيرات الجســدية المحددة والمباشرة فلقد وضع حد أقصى للتعرض الإشــعاعي لا يجوز تجاوزه، وهو 20 مللي سيفرت لكل عام وذلك للعاملين بالإشــعاع و1 مللي ســيفرت لكل عام لعامة الناس، وذلك وفقا لنشــرة الهيئة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP) الصادرة عام 1990م.

ومن أجل تحقيق هذه المبادئ الثلاثة الســابقة فقد وضعت تعليمات تنظم العمل في مجال الإشعاعات المؤينة، وتعليمات الوقاية من الإشعاع تختص دائما بالعاملين في مجال الإشعاع في جميع المجالات، كالصناعة والزراعــة والأبحاث العلمية المختلفة والمحطــات النووية لتوليد الطاقة ومصانع الأسلحة النووية.

أما فيما يختص باســتخدام الإشــعاعات المؤينة فــي مجال الطب كالفحوص التشخيصية بالطب النووي أو الأشعة التشخيصية أو العلاج الإشــعاعي باستخدام الأشعة أو الطب النووي فإن تعليمات الوقاية من الإشــعاع تنطبق على كل من العاملين والمرضى. ولذلك ســوف نتعرض بشيء من التفصيل للوقاية من الإشعاع في مجال الطب حيث إنه يعتبر المجال الأشمل والأعم تقريبا.

تنقسم الوقاية من الإشعاع إلى قسمين رئيسيين:

1 - **الوقاية من التعرض الخارجي للإشعاع:** حيث يكون مصدر الإشعاع معزولا تماما، ولا يوجد أي احتمال لدخول المادة المشعة إلى داخل الجسم البشري (كمثال أجهزة الـ X-ray والأشعة العميقة). وتعتمد الوقاية من التعرض الخارجي للإشعاع على ثلاثة عوامل رئيسية، هي زمن التعرض للإشعاع، والمسافة بين المصدر المشع والجسم البشري، ووجود حاجز مناسب بين المصدر المشع والجسم البشري.

وهكذا فإنه بالإمكان تخفيض مقدار التعرض الإشعاعي الخارجي عن طريق:

أ - تقليل زمن التعرض الإشعاعي للعاملين.

ب - زيادة المسافة بين المصدر المشع والعاملين.

جـ- استخدام درع (حاجز) واقٍ مناسب بين المصدر المشع والعاملين.

2 - **الوقاية من التعرض الداخلي للإشعاع:** حيث يكون مصدر الإشعاع غير معزول وفي حالة سائلة أو صلبة أو حتى غازية، ويتم التعامل معه مباشرة، مما قد يسبب حدوث تلوث إشعاعي للجسم البشري عن طريق دخول المادة المشعة أو جزء منها داخله، ويمكن حدوث هذا عن طريق:

أ - التنفس بالهواء الملوث إشعاعيا.

ب - بلع المادة المشعة أو جزء منها.

جـ - دخول المادة المشعة عن طريق جرح غير مغطى في الجلد.

د - دخول المادة المشعة عن طريق الحقن.

هـ - تلوث الجلد بالمادة المشعة وعدم غسله مما يؤدي إلى تعرض الجلد للتشعيع المباشر.

ولقد وجد أن التعرض الداخلي للإشعاع هو أكثر أهمية من التعرض الخارجي، ولذا فإن الوقاية من التعرض الداخلي للإشعاع قد بنيت على أساس منع حدوثه تماما، وذلك من خلال عمل اشتراطات معينة للأماكن التي تستخدم فيها المواد المشعة المفتوحة. هذا وقد صُنفت هذه الأماكن إلى ثلاثة أصناف وهي أ (A)، ب (B)، ج (C). وجاء هذا التصنيف اعتمادا على كمية المواد المشعة المستخدمة والحد الأقصى للنشاط الإشعاعي المسموح به لكل مادة. وفي المجال الطبي تكون المعامل المستخدمة للمواد

المشــعة هي من النوع «ب» (المعامل الحارة التي تقوم بإعداد المواد المشــعة المخصصة لحقن المرضى)، والنوع «ج» (غرف تصوير المرضى باســتخدام أجهزة الغاما كاميرا داخل أقســام الطب النووي بالمستشفيات ومختبرات الأبحاث التي تســتخدم المواد المشــعة على حيوانات التجارب ومختبرات الهرمونات في أثناء عمل الفحوص المتعلّقة بها) . أما النوع «أ» فهو يخص المختبرات والمصانع التي تنتج الوقــود النووي للمحطات النووية والمصادر المشعة ذات النشاط الإشعاعي العالي كالتي تستخدم في علاج الأورام.

طرق الوقاية من التعرض الخارجي

طــرق الوقاية للعاملين: بناء على ما ســبق فإن تعليمــات الوقاية من الإشــعاع للعاملين في مجال التشخيص بالأشــعة المؤينة، الأشعة السينية كمثال على الوقاية من التعرض الخارجي للإشعاع تكون كما يلي:

- توضع أجهزة المســح الإشــعاعي داخل غــرف مصممة خصيصا لهذا الغرض بحيث تكون ذات أبعاد معينة تكفي لتحقيق مبدأ زيادة المســافة بين مصدر الإشعاع والعاملين، كما تكون حوائطها ذات سماكة معينة تمنع حدوث أي تسرب إشعاعي للخارج.

- عــدم وجود العاملين بالتصوير بجوار جهاز الأشــعة مباشــرة وإنما يكــون هناك حاجــز (يفضل أن يكون زجاجا مرصّصــا) فاصل بين جهاز الأشعة الســينية (مكان انبعاث الإشعاع مباشرة) وبين لوحة التحكم الآلي التي يقوم العاملون بتشغيل الجهاز منها .

- تحديد عدد ساعات العمل للعاملين بالتصوير في إطار الجرعة المسموح لهم بالتعرض لها.

- يلتزم جميع العاملين باستخدام وسائل قياس الجرعات الإشعاعية الشخصية.

- يجب توافر الملابس المدرعة بالرصاص في غرفة التصوير الإشعاعي لكي يستخدمها العاملون في حالة مرافقتهم للمريض في أثناء تصويره.

- يجب التأكد من عدم وجود أي تسرب إشعاعي من الجهاز في أثناء تشغيله.

- يجب وضع ملصقات تحذيرية من الإشــعاع علــى أبواب المختبرات والأماكن التي توجد بها مصادر إشعاع ذري.

ملصق تحذيري للإشعاع الذري

طرق وقاية المرضى

تعليمات الوقاية من الإشعاع في مجال الفحص بالأشعة السينية للمرضى:

ولحماية المرضى الذين يتعرضون للتصوير (الفحص) الإشعاعي يلزم اتباع التعليمات التالية:

- يجب أن تخضع أجهزة التصوير الإشعاعي لعمليات فحص فني واختبارات للجودة وكفاءة التشغيل بواسطة المختصين، مما يضمن تشغيلها بالكفاءة المطلوبة وعدم احتياج المريض لإعادة الفحص، مقلّلا بذلك احتمالات تعرضه للإشعاع مرة أخرى.

- تستخدم أفلام فوتوغرافية عالية الحساسية ووسائل تحميض راقية عند استخدام الأفلام، وذلك لضمان الحصول على أوضح تصوير ممكن وعدم إعادة التصوير.

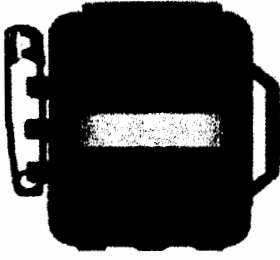
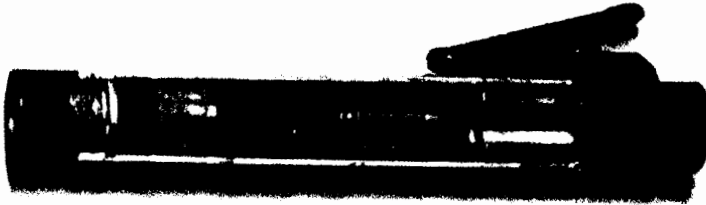
- تحـدد المســاحة المطلـوب تصويرها بدقــة مع تخفيـض الجرعة الإشــعاعية المعطاة لأقل قدر ممكن حتى نتجنب تعريض الجسم لجرعات إشعاعية أعلى من المطلوب.
- استخـدام مرشحـات مناسبــة لامتصــاص الأشـعة السينية غير المرغوب فيها.
- وضع دروع معينة على الأجزاء الحساســة للإشعاع غير المرغوب في تعريضها للإشعاع إذا اقتضت الضرورة ذلك.
- تجنب إجراء أي فحوص إشــعاعية للنساء قبل السؤال عن موعد الدورة الشــهرية، وكذلك التأكد من وجــود حمل أم لا. بحيث لا يجرَى الفحص إلا في حالة الضرورة القصوى.
- يجب أن يراعى ألا يتعرض المريض لجرعة إشعاعية أعلى من التي حددت في نشرة الـ ICRP رقم 62.

طرق الوقاية من التعرض الداخلي:

أما في مجال الوقاية من التعرض الداخلي للإشــعاع فسوف نأخذ تعليمات الوقاية من الإشعاع في مجال الطب النووي كمثال:

طرق وقاية العاملين

- يجــب على العاملين في هذا المجال ارتــداء الملابس الواقية مثل المعاطف والقفازات والكمامات والأحذية الخاصة.
- يجب عدم تداول المواد المشعة بالأيدي المجردة.
- يجب توفير وســائل قياس الجرعات الإشعاعية الخاصة بالأفراد مثــل الفيلم بادج أو مقياس الجرعات الجيبــي (Pocket Dosimeter) أو بــادج مقياس الجرعات الوميضي الحــراري (TLD) والموضحة في الصورة التالية على أن يتم تسجيل الجرعات للأفراد المستخدمين لهذه الوسائل بواسطة الأجهزة الرقابية الوطنية المختصة بذلك وعمل سجل جرعات لكل عامل ويتم الاطلاع عليه بصورة دورية.

مقياس الجرعات الشخصي
(TLD Badge)

مقياس الجرعات الشخصي
(Film Badge)

مقياس الجرعات الجيبي (Pocket Dosimeter)

مقياس جرعات يستخدم في أصبع اليد (Finger Dosimeter)
للمتعاملين مع تحضير المواد المشعة

- لا يسمح بتاتا بالأكل أو الشرب أو التدخين في الأماكن المرخص فيها باستخدام المواد المشعة.
- يجب استخدام الماصة الميكانيكية لسحب المواد المشعة السائلة وعدم السماح بسحبها بواسطة الفم.
- استخدام مناشف ورقية بصفة دائمة في أماكن تحضير المواد المشعة ويتم التخلص منها ومعاملتها كنفايات مشعة.

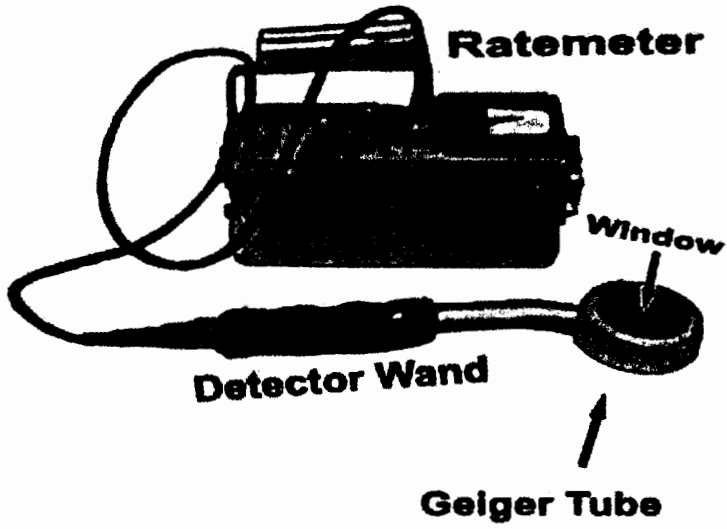
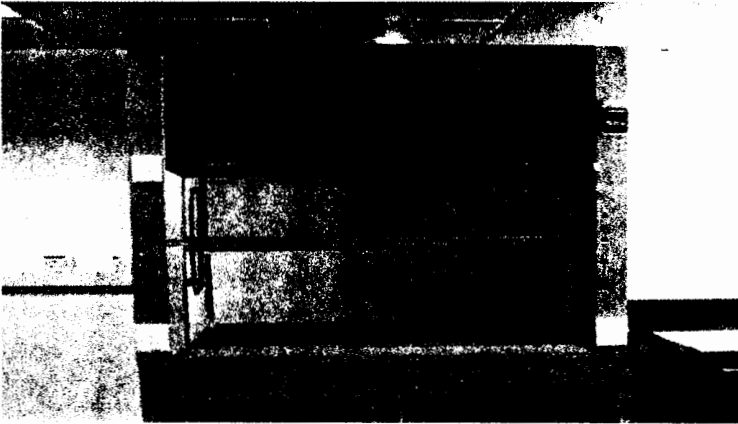
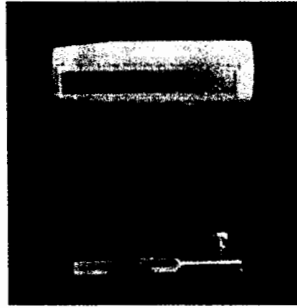
- توخـي الحرص الشـديد في حالـة وجود أي جـرح بحيث يتم التأكـد من تغطيته تمامـا وحمايته من أي تلوث إشـعاعي. وفي حال حدوث أي تلوث إشـعاعي للجرح يجب الإسراع بغسـله بالـماء عدة مرات وتطهيره جيدا ثم إبلاغ مسـؤول الوقايـة الإشعاعية فورا ليتخذ الخطوات اللازمة.

- يجب أن تتوافر أجهزة المسـح الإشـعاعي داخل أماكن استخدام المواد المشعة وأن يتدرب العاملون بها على كيفية استخدام هذه الأجهزة جيدا وأن يجرى عمل مسـح إشـعاعي دوري تحت إشـراف مسـؤول الوقاية الإشعاعية.

- يلزم وجود نظام تهوية جيد داخل الأماكن التي تستخدم مواد مشعة ويكون نظام التهوية هذا منفصلا تماما عن نظام التهوية الخاص بالمنشأة أو المبنى ككل كما هي الحال في المعامل الحارة.

- يلزم وجود جهاز حجـب الأبخرة (fume hood) في الأماكن التي تسـتخدم بها مواد مشـعة متسـامية مثل اليـود - 131 أو غاز مثل غاز الرادون - 222.

- يلزم وضع المحاقن التي تحتوي على المواد المشـعة داخل حاويتين مغلقتـين وذلك للتأكد من عدم حدوث أي تسـرب إشـعاعي في حال سـقوط أو انكسـار هذه المحاقن منعا لحدوث تلوث إشعاعي . وتكون الحاويـة الأولى على هيئـة درع رصاص محيطـة بالمحقنة (syringe shield) والحاويـة الثانيـة علـى هيئة محتوى رصـاص كبير يحتوي المحقنـة المدرعـة. ويؤدي اسـتخدام درع المحقنة إلـى حماية كل من العاملـين بالمعمل الحار والطبيب الذي يقـوم بحقن المريض من خطر التعرض الخارجي للإشعاع.

- يجب أن تجمع النفايات المشـعة داخل حاويـات مدرعة بالرصاص في أماكن معزولة عن جميع الأشخاص وتترك لمدة تساوي 10 أمثال زمن عمر النصف للمواد المشـعة المستخدمة حتى يصل نشاطها الإشعاعي إلى 1/1024 ممـا كانت عليـه ثم تنقل بعد ذلك للتخلـص منها بطريقة آمنة تحت إشراف مسؤول الوقاية الإشعاعية.

جهاز مسح إشعاعي لقياس مستوى الإشعاع في الأماكن المختلفة

جهاز حجب الأبخرة (fume hood)

أنواع مختلفة من دروع المحاقن

تعليمات الوقاية من الإشعاع الداخلي في مجال الطب النووي للمرضى:

- يجب إجراء فحص فني واختبارات جودة وكفاءة تشغيل لأجهزة التصوير الإشعاعي بواسطة المختصين لضمان تشغيلها بالكفاءة المطلوبة مما يغني المريض عن إعادة الفحص مرة أخرى.
- يجب الالتزام بالجرعة المعطاة للمريض طبقا لما ورد في نشرة ICRP رقم 62.
- التأكد من وجود أو عدم وجود حمل للسيدات.
- تزويد المرضى بتعليمات واضحة بالنسبة إلى التحضير للفحص لضمان نجاحه وبالتالي عدم إعادته، وكذلك تعليمات الوقاية من الإشعاع بعد مغادرة القسم إلى المنزل عند الضرورة.
- في حال حدوث تلوث إشعاعي للأفراد (مرضى أو عاملين بالإشعاع) يلزم عمل إزالة التلوث وعمل علاج وقائي وفقا للحادثة الإشعاعية كما يبين الجدول التالي.

جدول الإجراءات العامة للتقييم والاستجابة
أثناء حالات الطوارئ الإشعاعية (*)

العضو الملوث إشعاعيا	الوسيلة المستخدمة لإزالة التلوث	طريقة الإزالة والعلاج	ملاحظات
الجلد، اليدان والجسم	الماء والصابون	غسل المنطقة الملوثة بالماء والصابون لمدة 2-3 دقائق ثم قياس مستوى الإشعاع. تكرر العملية حتى يصبح مستوى الإشعاع بالمنطقة الملوثة مساويا للمستوى الطبيعي.	تغسل اليدان والذراعان والوجه بالحوض أما باقي الجسم فباستعمال الدش.
العين والأذن والفم	الماء فقط	العين: يقلب جفن العين للخارج ويشطف بلطف بالماء الأذن: ينظف مدخل قناة الأذن بمسحة قطنية. الفم: يغسل مع مضمضة بالماء - لا بد من أخذ الحيطة بعدم بلع الماء.	يفضل أن يقوم بتنظيف الأذن والعين متخصص في ذلك حتى لا يؤذي هذه الأعضاء.
الشعر	الماء والصابون	يغسل الرأس بالماء والصابون الكثيف لمدة 2-3 دقائق ثم يقاس مستوى الإشعاع. تكرر العملية حتى يصبح مستوى الإشعاع بالمنطقة الملوثة مساويا للمستوى الطبيعي.إذا لم يهبط مستوى الإشعاع يحلق الشعر ثم يطبق عليه نظام التطهير الخاص بالجلد.	الحذر واجب في أثناء غسل الشعر حتى لا يدخل أي جزء من المادة الملوثة عن طريق الفم.

(*) Generic Procedures for assessment and response during a radiological emergency, IAEA-TECDOC-1162, 2000.

الوقاية الشعاعية في الطب النووي

هدف الوقاية الشعاعية

يهدف برنامج الوقاية الشعاعية للتأكد من تأمين واتباع قواعد الوقاية الشعاعية بشكل صحيح وذلك عن طريق التصميم الصحيح والتطبيق المنظم للمراقبة العملية وتوفير المعلومات والإرشادات الكافية للعاملين في هذا الحقل من أطباء وفيزيائيين واتباع هذه الإرشادات عند التعامل مع الأشعة المؤينة اتباعا صحيحا لا مجال للخطأ فيه، فالأخطاء في هذا المجال غير مسموح بها مطلقا لأنها ستؤدي إلى ضرر محتم.

مقارنة كمية التعرض الشعاعي بين العاملين والمرضى

- العاملون في حقل الطب النووي: 20 ميللي سيفرت في العام الواحد كمعدل خمس سنوات متتالية، على ألا يتجاوز 50 ميللي سيفرت في العام الواحد.
- الأشخاص العاديون والمرضى: 1 ميللي سيفرت في العام الواحد على مدار خمس سنوات متتالية على ألا يتجاوز 5 ميللي سيفرت في العام الواحد.

تفعيل وسائل حماية البيئة من التلوث الإشعاعي

بالإضافة إلى الطرق المعروفة للوقاية من الإشعاع والتي لا بد من تطبيقها بدقة، فإن الطريقة المثلى لضمان حماية البيئة من التلوث الإشعاعي تقتضي القيام بأبحاث علمية مكثفة وعمل دراسات مستمرة حول الإشعاع، ومحاولة فهم الصفات الطبيعية والكيميائية للنظائر المشعة وكيفية تلوث الغذاء والماء والهواء بها، بالإضافة إلى التعمق في دراسة التأثيرات المحتملة للإشعاع على الخلية الحية والربط بين هذه التأثيرات والأمراض الوبائية الناتجة وكذلك التغيير الناشئ في الصفات الوراثية.

كما تقوم دراسات أخرى تعنى بالأسس البيولوجية للوقاية من أخطار الإشعاع ودراسات تختص بتنظيم قواعد التعامل الآمن مع الإشعاع ووسائل نقل المواد المشعة ووسائل التخلص من النفايات المشعة. وذلك بالإضافة إلى وجود نظام مراقبة لمستوى الإشعاع في البيئة (المسح الذري) ومقدار

تعــرض العاملين بالإشــعاع في المجــالات الطبية والبيولوجيــة والتعدين والعاملــين بالمفاعلات النووية بنوعيها (البحثية ومفاعلات القوى النووية) ومصانع الوقود النووي.

ويكتمــل هذا الجهــد العلمي بإصدارات ونشــرات دوريــة توجه إلى الجمهور وإلى المتخصصين في المجال حتى تنتشــر التوعية بالإشــعاع بين عموم الناس من دون اســتثناء. فلا يصبح مصطلح الإشــعاع النووي مبعثا للقلق والارتياب يرعب الناس بلا فهم أو سبب.

خاتمة

«إن أهم دور يؤديه الإشعاع اليوم هو خدمة البشرية عن طريق استخداماته المتعددة في تشخيص وعلاج الأمراض بالأشعة والطب النووي والجزيئي الحديث»

المؤلفان

يعود تاريخ الإشعاع الذري لأكثر من مائة عام، ونظرا إلى أن معرفتنا به بدأت منذ استخدامه في الحرب العالمية الثانية، ونظرا إلى أن لهذا الإشعاع استخدامات سليمة مهمة ومتزايدة فإنه من الضروري معرفة بعض الحقائق الضرورية، حيث إن تلك الاستخدامات في مجالات مختلفة تساعد على التنمية وتحسين الاستفادة من الخدمات الصحية لصحة أحسن للإنسان.

إن استخدام الإشعاع الذري أصبح جزءا لا يتجزأ من الحياة الحديثة بكل تطوراتها وتقدمها، فالإشعاع له استخدامات عديدة تلبي حاجات كل المجتمعات في مختلف الميادين. فهو اليوم يدخل في إنتاج الطاقة والصناعة (مثل صناعة السيراميك والمعادن والبلاستيك) ويؤدي دورا مهما في قطاعات

الزراعة والجيولوجيا والبحث العلمي. غير أن أهم دور يؤديه الإشعاع اليوم هو خدمة البشرية عن طريق استخداماته المتعددة في تشخيص وعلاج الأمراض بالأشعة والطب النووي والتصوير الجزيئي الحديث. ورغم أن للإشعاع بعض التأثيرات الضارة فإن استمراره في تلك المجالات مع اتباع القواعد السليمة للاستخدام، وكذلك الأخذ بطرق الوقاية من الإشعاع المعروفة، كل ذلك له فوائد فائقة الأهمية. ويجب ألا يتسبب الحذر من الإشعاع في التقليل من قيمته العظيمة بل يجب أن يستخدم بطريقة حكيمة وآمنة لمنع أو تقليل التأثيرات الحيوية الممكنة الحدوث عند استخدامه.

ونظرا إلى أهمية الصحة لكل إنسان فإنه وجب علينا أن نوضح أنه لا توجد أضرار من الاستخدام السليم للإشعاع في تشخيص الأمراض وأنه يجب أن تساعد الدراية بهذا وبفوائد الاستخدام في التشخيص المبكر وتقييم الاستجابة للعلاجات المختلفة وبالذات في الأورام على الاستفادة القصوى مما هو متاح في الطب الحديث من تكنولوجيا.

في دولنا العربية هناك تأخير في الحصول على كثير من التكنولوجيا الحديثة وليس هذا على الإطلاق نتيجة نقص الموارد كما يفسر البعض ولكنه نتيجة الأولويات غير السوية وعدم الاهتمام بالباحثين وبآرائهم ونقص المعرفة أو عدم اتباع طرق المعرفة الجماعية.

وأخيرا فحلمي أن أرى أو يرى الجيل القادم الحق فوق القوة، والسلام هو الحق للإنسان، والتطبيقات السلمية للذرة مثال حي ينبغي أن يكون فوق القوة وإفرازاتها التي تقود السواد الأعظم من سكان المعمورة إلى المجهول، وأن تختفي الترسانة الذرية المدمرة وتوجه أموال الشعوب إلى ما يحقق الرخاء والقضاء على الفقر، وهو الحق الضائع الذي يغفله كثيرون ممن يديرون شؤون العالم بالقوة العمياء رغم أن العدالة العمياء قد تكون الأفضل ولكنهم قد لا يعون، فهل يستجيب أحد للدعوة؟

الفصل الأول

The contribution of Maria Sklodowska-Curie and Pierre Curie to Nuclear and Medical Physics. A hundred and ten years after the discovery of radium. Hell J Nucl Med. 2008 Jan-Apr; 11(1):33-8. Bull Acad Natl Med. 1996 Jan; 180(1):109-18.

W. C. Röntgen The consequences of the discovery for present-day medical physics and radiation protection. Experientia. 1995 Jul 14; 51(7):640-51.

Marie and Pierre Curie and radium: history, mystery, and discovery. Med Phys. 1999 Sep; 26(9):1766-72.

Henkin RE: Nuclear Medicine, 2nd ed., Mosby, St. Louis, 2006.

Aaserud F: Redirecting Science - Niels Bohr, Philanthropy, and the Rise of Nuclear Physics, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

الفصل الثاني

Bailey D, Townsend D (eds): Positron Emission Tomography, Springer, Berlin, 2004.

Saha G: Physics and Radiobiology of Nuclear Medicine, 2nd ed., Springer, Berlin, 2001.

Lide D: CRC Handbook of Chemistry and Physics, Boca Raton, London, New York, 2001.

Cember H: Introduction to Health Physics, McGraw-Hill, New York, 2009.

Henkin RE: Nuclear Medicine, 2nd ed., Mosby, St. Louis, 2006.

Ametamey SM, Honar M, Schubiger P: Molecular Imaging with PET. Chem. Rev.,108, PP. 1501-1516. (2008).

Kwan - Hoong Ng: Non Ionizing Radiations Sources, Biological Effects, Emissions and Exposures. Proceedings of International Conference on Non Ionizing Radiation at UNITEN (2003).

Wieser ME: Atomic weights of the elements IUPAC Technical report). Pure Appl. Chem., 78, pp. 2051-2066, 2006.

Martin RC: Application and Availability of Californium-252 Neutron Sources for Waste Characterization. International Conference on Nuclear and Hazardous Waste Management. Chattanooga, Tennessee, 2000.

Ionizing Radiation http://en.wikipedia.org/wiki/Ionizing_radiation.

Element, artificial http://www.euronuclear.org/info /encyclopedia/ e/elementartifical.htm.

Ultraviolet Radiation http://www.nas.nasa.gov/About/ Education/ Ozone/radiation.html.

International Commission on Radiological Protection 103. Recommendations of the ICRP. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 129, No. 4, PP. 500 - 507, 2008.

Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP), 2007.

Cherry SR, Sorenson JA, Phelps ME: Physics in Nuclear Medicine, Saunders, Philadelphia, 2003.

International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources (SS115). IAEA, 1996.

الفصل الثالث

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources to effects assessment for radon in homes and workplaces, ANNEX E, 2006.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Report to General Assembly, 2000.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Exposure from natural radiation sources, ANNEX B, 2000.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Exposure to the public from man-made sources of radiation, ANNEX C, 2000.

International Atomic Energy Agency (IAEA). Nuclear Power Reactors In The World, 2006.

Mettler FA, Moseley RD: Medical Effects of Ionizing Radiation, Grune & Stratton, Orlando, 1985.

History of the Atomic Bomb & The Manhattan Project http://inventors.about.com/od/astartinventions/a/atomic_bomb.htm.

Justification, The IAEA Initiative http://www.fanc.fgov.be/.

Radiation Pollution, www.al-shatea.com.

Radiation Pollution: www.smsec.com/ar/encyc/nuclear.

Radon, www.5abr.com/news-action-show-id-9824.htm.

Radon, www.hazemsakeek.com/vb/showthread.php/t=6030.

Radon, www.3rbsc.com/ vb/showthread.php/t=4660.

EPA Map of Radon Zones, http://www.epa.gov/radon/images/zonemap.

French Nuclear Test 1970, http://www.ebaumsworld.com.

قاسم أمين الهيتي: البيئة الإشعاعية، الحوار المتمدن- العدد -2007 (اغسطس 2007).

مي السكري: الرادون القاتل الصامت: القبس- العدد 13157 - (14 يناير 2010) - ص 16.

الفصل الرابع

Alex Gobbard: «Coal Combustion: Nuclear Source or damage» Oak Ridge National Laboratory. Retrieved 2008-01-31.

Giambattista A, Richardson B, Richardson R: Physics, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 2007.

Valk P, Delebeke D, Bailey D, Townsend D: Positron Emission Tomography, Springer, London, 2006.

Elgazzer A: Concise guide to Nuclear Medicine. Springer, Berlin - New York, 2011.

Henkin RE: Nuclear Medicine, 2nd ed., Mosby, St. Louis, 2006.

Thrall J, Ziessman H: The Requisites Nuclear Medicine, Mosby, St. Louis, 2001.

Van Schulthess G: Clinical Positron Emission Tomography, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2000.

Radioisotopes in Industry http://www.world-nuclear.org/info.

The Regulation and use of radioisotopes in today's world http://www.nrc.gov/reading-rm/doc - collections/nuregs/brochures/br021.

Using of Radioisotopes in Agriculture http://www.iaea.org.

General Benefits of using Radioisotope in researches http://www.hss.energy.gov/healthsafety/ohre/roadmap/achre/chap6 10- Carbon 14 Dating http://www.creation-science-prophecy.com/C14.htm.

Elgazzar A: Pathophysiologic Basis of Nuclear Medicine; Springer, Berlin-New York, second edition, 2006.

Teaching Radioisotope Dating Using the Geology of the Hawaiian Islands http://mast.unco.edu/JGE-PDFs/MAR/p101-105, 2009.

الفصل الخامس

Elgazzar AH: Pathophysiologic basis of Nuclear Medicine, second edition. Springer, Berlin-New York, 2006.

United Nations Environment Program Radiation: doses, effects, risks. Blackwell, Oxford, pp65 - 84, 1988.

Cotran RS, Kumar V, Collins T (eds) In: Robbins

pathologic basis of disease, 5thedn. Saunders, Philadelphia, pp 50 - 88, 1999.

Prasad KN Handbook of radiobiology, 2nd edn. CRC Press, Boca Raton, 1995.

Saenger EL, Thomas GE, Tompkins EA Incidence of leukemia following treatment of hyperthyroidism. Preliminary report of the cooperative thyrotoxicosis therapy follow-up study. JAMA 205:855, 1968.

Matanoski GM Health effects of low-level radiation in shipyard workers: final report. DOE DE-AC0279 EV10095, 1991.

Cameron J The good news about low-level radiation exposure: health effects of low-level radiation in shipyard workers. Health Phys Soc Newslett 20:9, 1992.

UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) Annex B: adaptive responses to radiation in cells and organisms. Document A/Ac. 82/R.542, approved 11 March 1994.

Morgan WF. Non-targeted and Delayed Effects of Exposure to Ionizing Radiation: II. Radiation-Induced Genomic Instability and Bystander Effects In Vivo, Clastogenic Factors and Transgenerational Effects. Radiat Res 59(5):581-96, 2003.

Feinenegen LE. Evidence for beneficial low level radiation effects and radiation hormesis. Br J Radiol. 78(925):3-7, 2005 .

الفصل السادس

International Atomic Energy Agency (IAEA). Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standard Seires No. SF-1, 2006.

International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiation Protection and The Safety of Radiation Sources , IAEA Safety Standard Seires No. 120, 1996.

International Atomic Energy Agency (IAEA). The Principles of Radioactive Waste Management, IAEA Safety Standard Seires No. 111-F, 1995.

International Commission on Radiological Protection (ICRP). Radiological Protection in Biomedical Research, ICRP Publication 62, 1993.

NEWMAN J: Radiation Protection For Radiologic Technologists. Radiologic Technology, 2000.

Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines, IAEA Safety Reports Series No. 33, 2003.

(International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, IAEA Safety Series No. 115, 1996.

Direct Methods for Measuring Radionuclides in the Human Body, IAEA Safety Series No. 114, 1996.

Assessment and Treatment of External and Internal Radionuclide Contamination, IAEA-TECDOC-869, 1996.

pathologic basis of disease, 5thedn. Saunders, Philadelphia, pp 50 - 88, 1999.

Prasad KN Handbook of radiobiology, 2nd edn. CRC Press, Boca Raton, 1995.

Saenger EL, Thomas GE, Tompkins EA Incidence of leukemia following treatment of hyperthyroidism. Preliminary report of the cooperative thyrotoxicosis therapy follow-up study. JAMA 205:855, 1968.

Matanoski GM Health effects of low-level radiation in shipyard workers: final report. DOE DE-AC0279 EV10095, 1991.

Cameron J The good news about low-level radiation exposure: health effects of low-level radiation in shipyard workers. Health Phys Soc Newslett 20:9, 1992.

UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) Annex B: adaptive responses to radiation in cells and organisms. Document A/Ac. 82/R.542, approved 11 March 1994.

Morgan WF. Non-targeted and Delayed Effects of Exposure to Ionizing Radiation: II. Radiation-Induced Genomic Instability and Bystander Effects In Vivo, Clastogenic Factors and Transgenerational Effects. Radiat Res 59(5):581-96, 2003.

Feinenegen LE. Evidence for beneficial low level radiation effects and radiation hormesis. Br J Radiol. 78(925):3-7, 2005 .

الفصل السادس

International Atomic Energy Agency (IAEA). Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standard Seires No. SF-1, 2006.

International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiation Protection and The Safety of Radiation Sources , IAEA Safety Standard Seires No. 120, 1996.

International Atomic Energy Agency (IAEA). The Principles of Radioactive Waste Management, IAEA Safety Standard Seires No. 111-F, 1995.

International Commission on Radiological Protection (ICRP). Radiological Protection in Biomedical Research, ICRP Publication 62, 1993.

NEWMAN J: Radiation Protection For Radiologic Technologists. Radiologic Technology, 2000.

Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines, IAEA Safety Reports Series No. 33, 2003.

(International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, IAEA Safety Series No. 115, 1996.

Direct Methods for Measuring Radionuclides in the Human Body, IAEA Safety Series No. 114, 1996.

Assessment and Treatment of External and Internal Radionuclide Contamination, IAEA-TECDOC-869, 1996.

Intercomparison of Radiation Dosimeters for Individual Monitoring, IAEA-TECDOC-704, 1993.

Generic Procedures for assessment and response during a radiological emergency, IAEA-TECDOC-1162, 2000.

د. عبدالحميد حلمي الجزار

* ولد في مصر 1949

* عمل أستاذا مساعدا للطب النووي في كلية الطب بجامعة سنسناتي بولاية أوهايو، وفي كلية الطب في جامعة الكويت، وأستاذا مشاركا في كلية طب ماونت سيناي في نيويورك، ورئيسا لقسم الطب النووي بجامعة تافتس ومركز نيو إنغلند الطبي في بوسطن، ورئيسا لكلية الطب النووي بمعهد الكويت للاختصاصات الطبية ورئيس مجلس أقسام الطب النووي بوزارة الصحة.

* حاصل على البورد الأمريكي في الباثولوجية الإكلينيكية والجراحية في العام 1983، والبورد الأمريكي في الطب النووي في العام 1985.

محمد عبدالمنعم صقر

* ولد في مصر 1963

* حصل على بكالوريوس في الفيزياء العام 1985 وماجستير في الفيزياء النووية من جامعة القاهرة، مسؤول الوقاية الإشعاعية في كلية الطب في جامعة الكويت.

هذا الكتاب

الإشــعاع الذري جزء لا يتجزأ من الحيــاة الطبيعية التي نحياها، وهو ظاهرة قديمة قدم نشــأة العالم، وهناك اعتقاد أن الإشعاعات في أغلبيتها مضرة وخاصة الإشعاعات النووية التي عرفها الإنســان للمرة الأولى مع تفجير القنابل النووية، لكن الحقيقة أن لها استخدامات غاية في الأهمية في مجالات إنتاج الطاقة والصناعة والزراعة والجيولوجيا والبحث العلمي والطــب. ومن هنا كانت فكرة هذا العمل لتســتنير الشــعوب العربية بالحقائق وتزيل الخوف من كل ما يصدر إشعاعا.

يبــدأ هذا الكتاب بنبذة تاريخية مبســطة عن نشــأة علم الإشــعاع الــذري، والعلماء الذيــن يرجع إليهــم الفضل في الاكتشــافات التي مهدت الطريق لاســتخدامه في الأغراض الســلمية، كما يوفــر الكتاب قاعدة علمية مبســطة للتعريف بمنافــع وأضرار الإشــعاع الــذري وكيفية التعامــل الآمن مع مصادره.

ويســتعرض هذا الكتاب، بشــيء من التفصيل، استخدام النظائر المشــعة فــي الطب الحديث، خاصة في التشــخيص المبكر لكثير من الأمراض ومتابعتها، وكذلك علاج بعض منها.

ويهدف هذا العمل إلى أن يكون بداية لتشجيع التوسع في استخدام الإشــعاع الذري في المجتمعات العربية في مجالات سلمية عدة تساهم في التنمية.

ISBN 978 - 99906 - 0 - 336 - 1
رقم الإيداع (2011/377)